

Jeremy Narby

INTELLIGENCE DANS LA NATURE

EN QUÊTE DU SAVOIR



BUCHET • CHASTEL



SHOUT
SHARE **IT**

Jeremy Narby

iNTELLIGENCE DANS LA NATURE

EN QUÊTE DU SAVOIR

Traduit de l'anglais par Yona Chavanne

BUCHET • CHASTEL

© Buchet/Chastel,
un département de Meta-Éditions, 2005
7, rue des Canettes, 75006 Paris
ISBN 2-283-02115-4

La nature aime se cacher.
Héraclite.

À Beatrice.

Note de l'auteur : Afin de concilier lisibilité et rigueur, le corps du texte est accompagné de notes reportées en fin de volume. Pour les lecteurs qui voudraient des informations complémentaires, celles-ci sont organisées par chapitre, numéro de page et sujet, et commencent à partir de la page 171.

SOMMAIRE

Introduction : À la recherche de l'intelligence dans la nature ..	13
Chapitre premier : Cerveilles d'oiseaux	21
Chapitre 2 : Visions agnostiques	33
Chapitre 3 : Transformateurs	43
Chapitre 4 : Hiver fébrile.....	55
Chapitre 5 : Abeilles à même d'abstraire	71
Chapitre 6 : Prédateurs	85
Chapitre 7 : Les plantes agissent comme un cerveau.....	101
Chapitre 8 : Astuces d'amibes	115
Chapitre 9 : Les papillons-machines japonais.....	129
Chapitre 10 : Gelée mystérieuse.....	143
Chapitre 11 : <i>Chi-sei</i> et la capacité de savoir de la nature.....	159
Notes.....	171
Bibliographie.....	259
Index des noms	283
Index bibliographique.....	287
Remerciements	291

INTRODUCTION

À la recherche de l'intelligence dans la nature

Depuis une quinzaine d'années, j'aide les indigènes d'Amazonie à obtenir des titres fonciers pour leurs territoires. Ce sont des gens qui croient que les plantes et les animaux sont doués d'intention, et que les chamanes communiquent avec les autres espèces par la voie des visions et des rêves. Pour un rationaliste, leur mode de connaissance est difficile à saisir.

J'ai entrepris depuis plus de dix ans la recherche d'un terrain d'entente entre savoir indigène et science occidentale, et j'ai fini par découvrir des liens entre le chamanisme et la biologie moléculaire. Dans mon livre *Le Serpent cosmique, l'ADN et les origines du savoir*, j'ai présenté une hypothèse selon laquelle les chamanes accèdent dans leurs visions à des informations relatives à l'ADN, qu'ils appellent « essences animées » ou « esprits ».

En Amazonie, dirigeants et chamanes indigènes ont exprimé leur intérêt et soutien pour cette approche : pour eux, que leurs connaissances soient réelles n'a rien d'étonnant.

De l'autre côté de l'équation, cependant, les choses étaient plus compliquées. La science occidentale éprouve en effet quelques difficultés à reconnaître l'existence possible d'une intelligence non humaine, et tout autant l'acquisition d'un savoir objectif par des voies subjectives. Depuis sa parution, en 1995, *Le Serpent cosmique* n'a pas attiré l'attention que j'avais espérée de la part des scientifiques. Mais plusieurs biologistes ont lu le livre avec intérêt et engagé un dialogue avec moi. Un

biophysicien m'a mis au défi de tester mon hypothèse, car, pour lui, c'est en cela que consiste la véritable méthode scientifique.

Il touchait au bon endroit. En tant qu'anthropologue, je ne suis pas un scientifique, et n'ai jamais testé une hypothèse. J'ai donc décidé de relever le défi. Pour ce faire, j'ai accompagné trois biologistes moléculaires en Amazonie péruvienne pour voir s'ils pourraient obtenir des informations relatives au niveau biomoléculaire, après avoir ingéré un breuvage de plantes psychoactives administré par un chamane indigène. Chacun des trois a reçu au travers de visions des réponses claires sur son travail.

L'une de ces biologistes, le Dr Pia Malnoe, qui enseigne dans une université suisse et dirige une recherche en laboratoire, a conclu : « La démarche par laquelle les chamanes obtiennent leurs connaissances n'est pas très différente de celle par laquelle les scientifiques obtiennent les leurs. L'origine est la même, mais les chamanes et les scientifiques utilisent des méthodes différentes. »

J'ai publié un compte rendu de cette rencontre entre voies parallèles de connaissances humaines, mais en fin de compte, je me suis aperçu que je restais bloqué par mon désir d'obtenir l'approbation de l'*establishment* scientifique. J'ai donc décidé de changer l'orientation de ma recherche.

Une question semblait plus importante que les autres. À travers mes différentes investigations portant sur l'histoire, la mythologie, le savoir indigène et les sciences, j'avais trouvé des indices d'intelligence dans la nature. Cela me paraissait être une nouvelle manière de voir les êtres vivants. J'ai grandi en banlieue résidentielle et reçu une éducation matérialiste et rationaliste – une vision du monde qui rejette l'idée d'intention dans la nature, et perçoit les êtres non humains comme des « automates » et des « machines ». Mais maintenant, il y avait des signes de plus en plus nombreux indiquant que cette manière de voir est incomplète, et que la nature grouille d'intelligence.

Même les cellules dans notre corps fourmillent d'activités qui semblent délibérées.

Vers la fin des années 1990, j'ai commencé à me concentrer sur des travaux de biologistes étudiant des organismes plutôt que des molécules. À ma grande surprise, j'ai découvert nombre d'études récentes montrant que même de très simples créatures font preuve d'un comportement intelligent. Certains scientifiques décrivent, par exemple, comment une moisissure visqueuse unicellulaire dépourvue de cerveau sait résoudre un labyrinthe, et comment des abeilles, dont le cerveau a la taille d'une tête d'épingle, font usage de concepts abstraits. Au dix-septième siècle, le philosophe John Locke déclarait : « Les brutes sont incapables d'abstraction. » Mais, en fait, les animaux sont bel et bien capables d'abstraire, et la science réductionniste l'a récemment prouvé. J'ai même trouvé des scientifiques contemporains selon lesquels on ne peut comprendre les créatures naturelles qu'en leur attribuant une forme d'humanité. C'est bien ce que les chamanes affirment depuis très longtemps.

Tout ceci m'a conduit à me lancer dans une enquête sur l'« intelligence dans la nature », un concept qui combine savoir scientifique et savoir indigène. Je devais apprendre par la suite que des chercheurs japonais ont déjà un terme pour cette « capacité de savoir » du monde naturel : le *chi-sei* (prononcer tchi-seï). Mais la première partie de mon enquête me conduisait en Amazonie, où j'avais pour la première fois rencontré des personnes qui attribuaient esprit, intention et qualités humaines à d'autres espèces. J'avais ensuite l'intention de faire une anthropologie de la science et de rendre visite à des scientifiques dans leur environnement professionnel.

Je me suis lancé dans cette quête sans savoir ce que j'allais découvrir. Je suis parti à la chasse au trésor en ignorant où il se trouvait.

Un jour d'été, juste avant le début de cette enquête, j'ai rendu visite à une vieille guérisseuse par les plantes qui vivait dans une

ferme isolée d'Estonie. Elle s'appelait Laine Roht, ce qui veut dire « Vague d'Herbe » en estonien.

J'étais introduit auprès d'elle par la traductrice estonienne de mon dernier livre. Roht, qui ne parlait que l'estonien, nous conduisit jusqu'à un petit abri au fond de son jardin. Il y avait là une cheminée rudimentaire décorée avec des bouteilles de champagne russe vides.

J'expliquai que j'étais anthropologue et désirais lui poser quelques questions. Roht opina du chef. Elle s'était assise bien droite sur un banc, ses deux mains croisées dans son giron. Je lui ai demandé d'abord si elle pouvait m'expliquer comment elle était devenue guérisseuse. Elle répliqua que son grand-oncle était un guérisseur, et qu'elle était née avec ce don. Elle dit que les plantes lui parlaient, lui révélant à quel moment leur puissance curative était maximale et quand les cueillir. Cela se passe parfois la nuit, quand elle se repose, ajouta-t-elle ; elle reçoit des instructions, se lève, et va vers les plantes au sujet desquelles elle a été renseignée. L'information qu'elle reçoit est toujours juste, dit-elle. Et lorsque les gens lui parlent de leur maladie, elle en ressent les effets dans son propre corps, qui agit comme un miroir. Plus tard, quand elle apprend quelles plantes vont guérir la maladie, elle ressent un soulagement dans la partie de son corps qui est en empathie avec la personne malade. Elle n'a pas élaboré sur la manière dont elle reçoit les instructions données par les plantes ou à propos des plantes.

Sa conception des choses me rappelait celle de certains chamanes rencontrés en Amazonie. Je décidai d'aller droit au but et lui demandai si elle pouvait m'en dire plus sur l'intelligence dans la nature. Elle secoua la tête et répondit : « Personne ne m'a encore posé cette question. Il est difficile de pénétrer la nature. Je n'ai pas de mots pour ça. Ces mots-là n'existent pas. Personne ne saura jamais comment les plantes et les humains sont faits, ou ce qu'il adviendra d'eux. Cela demeurera secret. »

Son regard bleu pâle m'était difficilement soutenable. Quand elle parlait, je ne pouvais capter que la mélodie de sa voix. L'estonien n'est pas une langue indo-européenne, et je n'en comprenais pas un mot. Lorsqu'elle faisait une pause, j'écoutais la traduction et notais mot pour mot ce qu'elle venait de dire. *See jääb saladuseks*. (Cela demeurera secret). Le terme *saladus* veut dire secret.

Je lui ai demandé pourquoi la nature aime à se cacher. Elle a répondu : « Nous serons punis si nous révélons les secrets de la nature. On ne doit pas tout savoir. Il faudrait traiter la connaissance avec respect, guérir les gens et bien les traiter. Les secrets peuvent tomber entre de mauvaises mains. »

Avec pareille réponse, j'ai renoncé à pousser plus avant mes questions indiscretes.

Elle nous a fait faire le tour du jardin et désigné les plantes qu'elle utilise pour guérir telle ou telle condition. Nous approchions de la fin de la rencontre. J'ai eu envie de la remercier pour le temps et la considération dont elle nous avait gratifiés, et j'ai été chercher dans la voiture un exemplaire de mon livre en estonien. La couverture est illustrée par un serpent. Elle l'a pris dans ses deux mains, a jeté un œil sur la couverture puis a dit : « J'ai quelque chose pour vous. »

Nous l'avons suivie jusqu'à la maison et l'avons attendue dehors. Elle est revenue avec un grand bocal de verre qui contenait de l'alcool distillé à partir des fruits de son jardin, et une vipère morte. Elle nous a expliqué qu'elle avait attrapé la vipère dans son jardin plusieurs mois auparavant et l'avait plongée encore vivante dans l'alcool. En mourant, le serpent avait craché son venin dans la mixture qui, nous affirma-t-elle, nous donnerait vitalité et nous protégerait des maladies. Elle remplit un petit gobelet de médecine de serpent et me l'offrit. Je l'avais d'un trait au nom de l'anthropologie. Le goût n'était pas si mauvais. L'effet premier fut une sensation de chaleur fourmillante et de bien-être sans rapport avec la petite dose d'alcool absorbée.

Nous l'avons remerciée une fois encore et pris congé d'elle. Je me suis mis au volant, le trajet du retour s'est passé comme en état de grâce, et pendant les semaines qui ont suivi, je me suis senti rayonnant et plein d'énergie. Une fois revenu chez moi en Suisse, mon entourage m'a félicité pour ma bonne forme. En racontant cette histoire, je n'essaie pas de convaincre qui que ce soit de l'efficacité de cette cuvée d'« huile de serpent » (bien qu'une recherche plus approfondie serait intéressante, ne serait-ce que parce que le venin de serpent contient des substances qui agissent sur les neurones). En fait, les mots de Laine Roht restaient gravés dans mon esprit. *Cela demeurera secret*. Cela signifiait-il que je ne devais pas poursuivre mon enquête sur l'intelligence de la nature ?

Ses paroles ont tourné dans ma tête pendant des mois. Mon intention n'était pas de pénétrer par effraction dans la boîte à secrets de la nature : je voulais seulement voir où celle-ci se situait et pouvoir la considérer sous plusieurs angles. J'ai voyagé en Amazonie et visité des laboratoires dans divers pays. J'ai découvert, qu'à certains niveaux, la science se rapprochait du savoir indigène. Aujourd'hui, la science nous dit que les humains sont pleinement apparentés aux autres espèces. Nous sommes construits de la même manière et avons des cerveaux de type similaire. La science montre également que les autres espèces ont leurs propres modalités d'intelligence. Toutefois, les mots de Laine Roth continuaient à habiter mon esprit. M'étais-je lancé sur une mauvaise piste ? Mon enquête était-elle vouée à l'échec ?

Une année et demi environ après ma visite à Laine Roht, j'ai compris que si une chose est destinée à rester secrète, alors essayer d'en découvrir plus à son sujet n'est pas problématique. Et peut-être Laine Roth a-t-elle raison en affirmant que personne ne comprendra jamais comment les plantes et les êtres humains sont faits. Mais chercher à découvrir comment la nature sait n'est pas un crime. Il est vrai que l'on peut abuser de

la connaissance. Mais si la nature est douée de savoir et que je fais partie de la nature, pourquoi ne devrais-je pas viser la connaissance ?

CHAPITRE PREMIER

Cerveilles d'oiseaux

Un jour de septembre 2001, je suis monté à bord d'un canot piloté par un Indien matsigenka pour entreprendre la descente du fleuve Urubamba. Dans cette partie de l'Amazonie péruvienne, les forêts et les rivières abritent plus d'espèces d'arbres, d'insectes, de reptiles, d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères que n'importe quelle autre région de taille comparable. Nous pénétrions dans l'épicentre de la biodiversité mondiale.

Nous avons traversé des gorges habitées de milliers de perroquets colorés et d'autres oiseaux. À la tombée de la nuit, nous avons campé sur une petite plage sur la rive du fleuve. Je voyageais en compagnie d'un anthropologue péruvien, de la directrice d'une fondation américaine pour l'environnement, et de deux amis suisses. Nous allions, entre autres, visiter un projet dirigé par une communauté d'Indiens matsigenka. Mes compagnons se sont retirés de bonne heure après la longue journée passée sur le fleuve ; quant à moi, je me suis assis près du feu, me laissant hypnotiser par l'enceinte de sonorités mouvantes produites par la forêt. J'entendais les stridulations des cigales et des criquets, les étranges mélodies de certains oiseaux, le croassement des grenouilles, et le braillement des singes. En Amazonie, la nature fait beaucoup de bruit, surtout la nuit.

Le matin suivant, nous avons continué notre descente de la rivière et enfin, nous avons amarré notre canot au ponton d'une

loge perchée tout en haut d'une falaise dominant le fleuve, le Centre matsigenka d'études tropicales. J'étais curieux de visiter ce projet de développement communautaire dont l'objectif était de générer des bénéfices tout en respectant la biodiversité. Après avoir escaladé un abrupt escalier de bois, nous sommes arrivés à l'entrée de la loge : le sol était en bois dur et poli, et les fenêtres étaient équipées d'écrans antimoustiques étanches. Nous avons ensuite visité les chambres, et trouvé des lits propres et des salles de bains carrelées pourvues d'eau chaude. Au fil des ans, j'avais visité bon nombre de sites ruraux en Amazonie péruvienne, mais jamais encore je n'avais rencontré pareil confort. Tandis qu'à la réception, un employé matsigenka était en train d'enregistrer nos noms, un client américain qui passait là nous demanda : « Avez-vous fait bon voyage ? »

Après m'être installé, j'ai pris une douche avant de rejoindre mes compagnons dans la salle à manger. Nous avons commandé au serveur matsigenka du jus de papaye, du poisson et du riz. Plusieurs autres tables étaient occupées par un groupe d'Américains, qui parlaient avec excitation des oiseaux qu'ils avaient observés ce matin-là dans la forêt. Après le déjeuner, l'un d'eux vint à notre table et se présenta sous le nom de Charlie Munn. Grand, et doté d'un large front, Munn commença à nous parler de sa profession et passion : l'étude des oiseaux. Il nous raconta qu'il venait en Amazonie péruvienne depuis vingt-cinq ans, et qu'il avait fait sa recherche de doctorat près d'ici, dans la Réserve biosphère de Manu. En travaillant avec des Indiens matsigenka, Munn et son équipe avaient découvert que les aras, ces géants colorés du monde des perroquets, se rassemblaient tous les jours pendant presque toute l'année sur de vastes bancs d'argile, qu'ils becquetaient et consommaient en petites portions. Lorsque Munn et ses collègues avaient observé ce comportement pour la première fois dans le Manu, ils s'imaginaient avoir découvert la seule falaise d'argile au monde où des aras se réunissent régulièrement. Mais grâce à leurs guides indigènes, ils en repérèrent

des dizaines d'autres, dont l'une située à une heure de marche de la loge où nous conversions.

Tout cela était nouveau pour moi, et je ne m'étais pas attendu à rencontrer un ornithologue de premier plan en descendant le cours de l'Urubamba. Je n'avais pas non plus l'habitude d'entendre quelqu'un présenter son travail de manière si directe. Mais je trouvais Munn trop intéressant pour l'interrompre. Il raconta que son équipe et lui-même avaient tout d'abord été mystifiés par la consommation d'argile des aras. Ils présumaient que l'argile contenait des sels et des minéraux qui complétaient le régime principalement végétarien de ces oiseaux. Puis un étudiant analysa les graines communément mangées par les aras et découvrit qu'elles contenaient des alcaloïdes toxiques. Les aras préfèrent les graines des fruits à leur chair, et utilisent la puissance de leur bec crochu pour fendre et manger des graines d'arbres de toutes sortes, différant en cela de la plupart des autres oiseaux de la forêt tropicale. Il s'avère, dit Munn, que l'argile mangé par les oiseaux adsorbe les toxines et accélère leur élimination du corps ; l'argile probablement tapisse leur intestin en le protégeant de l'érosion chimique provoquée par les toxines contenues dans les graines. Les aras consomment des doses quasi quotidiennes d'argile pour se détoxifier, ce qui leur permet de manger des aliments que d'autres oiseaux ne supportent pas. Il ajouta que les aras choisissent les bancs dont la qualité d'argile adsorbe le mieux les toxines, et qu'ils évitent les autres bancs. Leur préférée est une argile riche en kaolin, que les humains utilisent pour soigner l'empoisonnement alimentaire.

En écoutant Munn, je prenais conscience qu'il donnait là un exemple de comportement intelligent dans la nature. Trouver l'argile appropriée et la consommer, cela permet à ces oiseaux de manger des graines et des fruits encore verts, donc difficiles à digérer, voire mortels pour d'autres espèces. Avec ça, ils ont un net avantage sur la plupart des autres animaux de leur environnement. Mais, me demandais-je, l'intelligence des oiseaux est-elle

la même que celle dont font preuve les humains en prenant du kaolin ? Et les oiseaux n'agissaient-ils pas plutôt par une forme d'« instinct » ou de « comportement adaptatif vis-à-vis de l'évolution » ? Choisisaient-ils l'argile la meilleure par une sorte de processus automatique ? Ou savent-ils ce qu'ils font, comme des sujets pensants ? Les humains sont-ils « intelligents » en consommant de l'argile, alors que les aras ne seraient qu'« instinctifs » quand ils font la même chose ?

Avant que j'aie pu poser ces questions à Munn, mes compagnons et moi étions invités à un circuit guidé à travers la faune et la flore de la forêt aux environs de la loge. Je remerciai Munn pour ses intéressantes informations et me promis intérieurement d'en reparler avec lui plus tard.

Un guide matsigenka nous attendait à l'extérieur. Il s'appelait Hector Toyeri Andres. Il avait vingt et un ans, des cheveux de jais et des yeux noirs. Il portait des pantalons et un tee-shirt, mais marchait pieds nus, son sac de coton traditionnel suspendu à l'épaule.

Nous nous sommes salués et il s'est mis à parler dans une langue étrange, dont j'ai compris rapidement que c'était de l'anglais. Il nous a dit qu'il allait nous montrer les animaux. C'était la première fois que j'entendais un Indien d'Amazonie parler anglais. Nous avons pénétré dans la forêt. Malgré la chaleur lourde du milieu de journée, l'air sous les arbres était frais. Toyeri nous a fait signe de marcher doucement en ligne derrière lui. Peu de temps après, il s'est arrêté et a pointé du doigt un arbre proche de nous, en murmurant en anglais quelque chose que je ne comprenais pas. Il a fouillé dans sa besace, en a sorti un gros volume intitulé en anglais *Birds of Colombia* et l'a feuilleté jusqu'à ce qu'il trouve une page bourrée de noms d'oiseaux tels que « tangara à gorge noire ». La prononciation de Toyeri n'était pas si mauvaise. En fait, la plupart de ces noms d'oiseaux tropicaux m'étaient tout simplement étrangers.

C'était aussi la première fois que je voyais un Amazonien

indigène se promener avec un livre pour mieux comprendre le monde, comme on transporte un outil. Traditionnellement, les Amazoniens indigènes sont de culture orale, et n'utilisent pas de documents écrits. Mais Toyeri appartenait à une nouvelle génération et avait reçu une formation de guide pour touristes écologiques. Il se déplaçait comme un chasseur, glissant rapidement et silencieusement sur le sol de la forêt, attentif aux moindres mouvements alentour. Nous avons traversé plusieurs ruisseaux et vu quantité d'oiseaux et d'insectes, dont des fourmis coupeuses de feuilles très occupées à leur travail. Mais les mammifères demeuraient invisibles, semblaient se tenir à distance. À un moment donné, Toyeri repéra un grand fourmilier gris escaladant un arbre, qui ne semblait pas autrement troublé par notre présence.

Après ce circuit dans la flore et la faune, j'ai passé l'après-midi à rédiger des notes et me suis allongé pour faire la sieste avant de verser dans un sommeil profond. Quand je me suis réveillé, la nuit était tombée. En parcourant, un peu groggy, la salle à manger, j'ai repéré les observateurs d'oiseaux américains rassemblés autour d'un ordinateur portable. Ils s'exclamaient avec enthousiasme sur les images d'aras qu'ils avaient filmés le matin même. En y jetant un coup d'œil, je vis des explosions de couleurs – vert, rouge, bleu, jaune, gros plans d'aras rivalisant en poussant des cris rauques pour trouver une place sur un banc d'argile. En observant ces observateurs d'oiseaux s'émerveiller de ce dont ils avaient été témoins ici, au Centre matsigenka d'études tropicales, je me suis souvenu d'un rêve décrit par l'ethnobotaniste Glenn Shepard, qui a passé des années à travailler avec des chamanes matsigenka de la vallée de l'Urubamba, pour étudier leurs connaissances des plantes. Inspiré par une pâte de tabac que lui avait préparée un chamane, Shepard avait rêvé qu'une « équipe de docteurs yankee » travaillait côte à côte avec des botanistes matsigenka qui parlent anglais, à l'intérieur de laboratoires de recherche sophistiqués. Trois ans

seulement avaient passé depuis le récit de Shepard, et pourtant son rêve semblait être en train de se réaliser.

Au dîner, mes compagnons ont commandé une bouteille de vin péruvien – question de « contribuer à l'économie locale » – et nous nous sommes mis à raconter des histoires et à philosopher. J'espérais attraper Munn pour le questionner sur l'intelligence des aras. Mais les observateurs d'oiseaux s'étaient retirés de bonne heure, ayant prévu de se lever à 4 heures du matin afin d'atteindre la falaise d'argile à temps pour observer à nouveau les aras et d'autres perroquets. Mes compagnons et moi étions résolus à les accompagner, mais nous sommes restés très tard à bavarder.

Après une courte nuit de sommeil, j'ai mis mes souliers à la lueur d'une bougie. Il était quatre heures et quart et nous étions en retard. Les observateurs d'oiseaux avaient déjà quitté la loge. Toyeri, notre guide matsigenka, nous attendait dehors. Il nous dit que nous devons nous dépêcher pour arriver sur place avant les oiseaux. Nous nous mîmes en route, équipés de torches, suivant Toyeri dans la forêt. Nous grimpâmes pendant une heure dans sa foulée énergique. Le faisceau lumineux de ma torche dessinait un chemin à travers la végétation sombre et froide.

Quand nous atteignîmes la falaise, le jour commençait à poindre. Toyeri nous conduisit au pied d'une butte d'argile rouge d'une cinquantaine de mètres de hauteur, et rassembla notre groupe dans un couvert de bonne taille protégé par des feuilles de palmier. Les observateurs d'oiseaux étaient tous là et avaient déployé leurs caméras et de puissantes jumelles montées sur tripodes. Le couvert faisait penser à un nid d'espions. On nous recommanda de rester silencieux, parce que les aras et les autres perroquets allaient apparaître d'un instant à l'autre, et qu'une présence humaine visible ou audible les tiendrait à distance.

L'un de mes compagnons de voyage était un compositeur de musique électronique et désirait enregistrer le son des oiseaux. Il

a vite réalisé que, sous ce couvert, les conditions d'enregistrement n'étaient pas optimales. Il avait besoin de silence autour du microphone. Il discuta le problème avec Toyeri, qui nous fit signe de le suivre. Toyeri nous conduisit sur un petit monticule situé à une centaine de mètres en face de la falaise. Nous nous cachâmes sous les arbres à un endroit qui, à travers la végétation, nous permettait de jouir d'une vue panoramique et d'une écoute maximale.

En face de nous, la falaise d'argile commençait à retentir d'appels, de pépiements, de cris et de gloussements d'oiseaux. On aurait dit une volière. Arrivés de nulle part, des centaines d'oiseaux s'y étaient réunis. Je fermai les yeux et écoutai. Le son me rappelait une scène du film *Les Oiseaux*, de Hitchcock, dans laquelle des milliers de mouettes se rassemblent dans un vacarme effrayant. Mais le son des aras était rauque et jubilatoire, plutôt que menaçant.

Lors d'une pause dans l'enregistrement, j'ai demandé à Toyeri les noms de certains oiseaux que nous entendions. Il a extirpé de sa besace le livre *Birds of Colombia* et s'est mis à énumérer des noms que je notais au fur et à mesure : Aras rouges, aras bleus, aras verts, conures pavouanes, amazones à front jaune, piones à tête bleue...

La falaise s'était transformée en une paroi tourbillonnante de couleurs arc-en-ciel. Le raffut des oiseaux était à la fois symphonique et assourdissant. Perchés sur la falaise d'argile rouge, ils semblaient se chamailler, basculer et fondre en piqué les uns sur les autres, tournoyant en pirouettes, tandis que d'autres oiseaux s'envolaient vers des arbres voisins en poussant des cris stridents. Couleurs et mouvements magnifiques se mêlaient aux sons discordants : le spectacle était éblouissant.

Je demandai à Toyeri ce qu'il pensait que les oiseaux se racontaient entre eux. Il répondit (en espagnol) : « Ils sont tous amis. S'ils font autant de bruit quand ils mangent, c'est parce qu'ils se disent "venez par ici, c'est vraiment bon ici". Pour eux, les minéraux et les sels sont comme des bonbons pour nous.

C'est leur nourriture. Ils font ça de cinq heures et demi à sept heures un quart. Puis ils s'envolent chacun de leur côté dans la forêt. Pour eux, c'est comme le petit déjeuner. »

Il est difficile de savoir ce que les aras avaient en tête lorsqu'ils se régalaient d'argile. Mais il est évident qu'ils prenaient plaisir à leur petit déjeuner en société avant une journée solitaire à fourrager sous les voûtes de la forêt. Je demandai à mon ami musicien ce que cette scène évoquait pour lui. « Cela me fait penser à une fête, dit-il, ou à un *after*, peut-être même à une *rave party*. »

Tandis qu'assis à même le sol dans la forêt, nous attendions la fin de ce festin tapageur, je pensais aux difficultés d'évaluer l'intelligence dans la nature. Il y avait là des oiseaux dont le comportement rappelait fortement celui des humains, qui se réunissaient pour un bruyant banquet, et s'autoadministraient un remède en choisissant les espèces d'argile les plus détoxiquantes. Ils ne se comportaient pas comme des automates ou des machines, mais comme des êtres intelligents. Et pourtant, l'intelligence qui semblait se cacher en eux demeurait difficile à définir – vue et entendue, mais en même temps, insaisissable.

Soudain, un colibri au long bec descendit en chandelle tout près de nous. Le battement intense de ses ailes vrombissait comme un petit moteur. Il resta suspendu en l'air pendant de longues secondes, à un mètre à peine de nos visages. Il avait l'air de nous observer et de nous évaluer. Puis il s'éloigna, volant de fleur en fleur pour trouver du nectar.

L'assemblée des perroquets s'acheva aussi abruptement qu'elle avait commencé. Les oiseaux commencèrent à s'envoler dans toutes les directions par-dessus la forêt. En quelques minutes, la fête fut finie, et la foule composée d'un bon millier d'oiseaux se réduisit à une poignée d'individus. Il était sept heures et quart à ma montre. Ces oiseaux étaient ponctuels.

Nous prîmes le chemin du retour vers la loge. Bientôt, nous

allions remonter à bord de notre canot pour poursuivre la descente du fleuve. Je préparai mon sac à dos, puis partis à la recherche de Charlie Munn.

Nous nous sommes rencontrés dans le lobby où nous avons échangé brièvement quelques propos. Je lui ai dit que je commençais des recherches pour un livre sur l'intelligence dans la nature, et je lui ai demandé s'il pensait que les aras sur la falaise d'argile agissaient avec intelligence. Je m'attendais à un regard perplexe en retour, mais il me regarda bien en face et dit : « Ces oiseaux sont malins. » Il me suggéra ensuite de lire son article intitulé « Des oiseaux crient au loup », publié dans la revue *Nature*. Il raconta qu'il avait observé dans la Réserve biosphère de Manu des oiseaux qui jouaient le rôle de sentinelles et alarmaient dès qu'ils voyaient des prédateurs, mais qui, occasionnellement, utilisaient leur pouvoir pour tromper d'autres oiseaux. Ces sentinelles trouvaient leur nourriture par ruse en poussant des faux cris d'alarme qui avaient pour effet de paniquer les autres oiseaux, lesquels abandonnaient alors les insectes qu'ils venaient de dénicher dans les arbres. Munn ajouta qu'en général, la ruse n'existait pas sans l'intelligence.

Je lui ai demandé s'il pensait que les oiseaux agissaient intentionnellement. Il hocha la tête en signe d'approbation : « Il y a même des oiseaux dans le Manu qui savent différencier les Matsigenkas travaillant avec une équipe scientifique de ceux qui sont chasseurs. Cette information est inédite, et vous pouvez la mentionner dans votre livre, si vous voulez. »

Plus tard dans la journée, mes compagnons de voyage et moi-même avons poursuivi notre descente du fleuve dans le canot à moteur. Le soleil tapait sur nos têtes, l'air était brûlant et humide. Je contemplais l'eau qui glissait à côté de nous, et mon esprit s'est mis à vagabonder en pensant aux oiseaux.

Les observateurs occidentaux ont longtemps minimisé les capacités mentales des oiseaux – d'où le terme « cervelle d'oiseau », qui signifie « personne stupide ». Les oiseaux ont de

petits cerveaux comparés aux humains, mais en quoi un cerveau de petite taille exclurait-il la possibilité que des oiseaux puissent penser et prendre des décisions ?

Les membres de la famille des corvidés – dont les corbeaux, les corneilles, les pies, les choucas, et les geais – obtiennent généralement les scores les plus élevés d'intelligence dans des études scientifiques. Par exemple, un certain corbeau, le casse-noix d'Amérique, peut mémoriser jusqu'à trente mille caches de graines de pin qu'il accumule et enterre de manière à protéger ses provisions. Et lors d'une expérience récente, on a découvert que les geais à gorge blanche, qui cachaient leur nourriture tandis que d'autres oiseaux les observaient, changeaient leur cache de lieu lorsque les oiseaux observateurs n'étaient plus présents – fait qui indique à la fois mémoire et prévoyance. Mais les corvidés ne sont pas les seuls oiseaux intelligents. Même les pigeons semblent plus malins que la plupart des gens le pensent. Récemment, une expérience a montré que des pigeons peuvent apprendre à distinguer une peinture de Van Gogh de celle de Chagall. Les oiseaux avaient été entraînés à recevoir une récompense s'ils picorait la peinture de Van Gogh, et on les décourageait quand ils choisissaient Chagall. On leur montra ensuite des œuvres des deux peintres qu'ils n'avaient encore jamais vues. Le groupe des pigeons réussit dans l'ensemble presque aussi bien qu'un groupe parallèle d'étudiants en psychologie.

La capacité d'apprentissage est en général considérée comme une marque d'intelligence. En fait, la quasi-totalité des neuf mille espèces d'oiseaux répertoriées a un chant particulier, mais la moitié environ doit l'apprendre. Quand les oiseaux n'ont pas la possibilité de le faire, ils développent des chants différents de ceux qu'on entend dans la nature. Les jeunes oiseaux doivent écouter les adultes, puis pratiquer de leur côté. Il semble même que les oiseaux pratiquent le chant en rêve. La recherche montre que les neurones d'oiseaux chanteurs endormis sont activés et forment des circuits complexes semblables à ceux produits

quand ils chantent éveillés. Parmi les oiseaux chanteurs, certains, tels les canaris, changent de répertoire chaque année. Des scientifiques ont découvert que ce changement pouvait être mis en corrélation avec des changements de circuits cérébraux, et que les canaris adultes génèrent de nouveaux neurones de manière continue. Cette découverte est venue contredire un siècle de théorie scientifique selon laquelle les cerveaux des animaux adultes ne changent pas. Il semble maintenant que tous les animaux, y compris les humains, génèrent de nouveaux neurones durant toute leur vie adulte. Sur ce point, heureusement, nos cerveaux ne sont pas si différents de ceux des oiseaux.

Les peuples indigènes d'Amazonie et d'ailleurs disent depuis longtemps que les oiseaux et autres animaux peuvent communiquer avec les humains. Le chamanisme repose essentiellement sur l'expérience du dialogue avec la nature. Quand des chamanes entrent en transe et communiquent en esprit avec le monde végétal et animal, on dit d'eux qu'ils parlent *le langage des oiseaux*. Les historiens des religions ont documenté ce phénomène en divers points du globe.

Scientifiques et chamanes pourraient unir leurs forces pour essayer de comprendre l'esprit des oiseaux et d'autres animaux, me disais-je, en laissant mon regard couler avec les eaux de l'Urubamba.

Notre canot s'approchait maintenant d'une brèche dans la forêt sur la rive droite du fleuve. C'était l'endroit où un consortium international dirigé par une compagnie pétrolière argentine était en train de construire un centre d'opérations appelé *Las Malvinas* (Les Malouines). La forêt originelle cédait la place aux bulldozers et aux machines. Il y avait d'énormes tas d'argile orange, des trous béants remplis d'eau, des baraquements mobiles pour les ouvriers du chantier, des piles de tuyaux géants, et un terrain d'atterrissage pour hélicoptères. Sous le sol dans la vallée de l'Urubamba gît l'un des plus grands dépôts connus de gaz naturel. Les communautés matsigenka sont pro-

priétaires du terrain, mais l'État péruvien possède le sous-sol et en a accordé le droit d'exploitation au consortium pétrolier.

Traditionnellement, tous les chamanes, quelle que soit leur origine géographique, rapportent dialoguer avec la nature, et apprendre d'elle les limites dans lesquelles les humains sont en droit de l'exploiter. Les chamanes de nombreuses communautés indigènes font état d'une entité connue sous le nom de « maître des animaux », avec laquelle ils négocient la prise de gibier lorsqu'ils sont en transe. On dit du maître des animaux qu'il protège les plantes et les animaux, et impose des limites aux activités productrices des humains quand ceux-ci agissent avec trop d'insouciance ou par avidité.

Que dirait, me demandais-je, le maître des animaux sur l'installation d'un gazoduc au cœur de la biodiversité terrestre ? Il dirait peut-être que nous avons des cervelles d'oiseaux.

CHAPITRE 2

Visions agnostiques

Avant d'entreprendre mon voyage dans la vallée de l'Urbamba, j'ai rendu visite à un chamane Ashaninca appelé Juan Flores Salazar, qui vivait dans la vallée Pachitea, en plein cœur de l'Amazonie péruvienne.

Pour remonter du fleuve Pachitea jusqu'à la maison de Flores, située sur les collines, il fallait traverser la forêt pluviale primaire. L'air avait des odeurs de moisissure fertile, comme dans une serre. Dans l'épaisse tapisserie végétale qui m'entourait, aucune plante ne ressemblait à une autre. Les arbres, qui s'élevaient jusqu'au ciel, avaient chacun leur propre identité. Et sur les troncs moisissant des arbres en partie tombés et déjà en train de se décomposer, une variété de plantes poussait. Car si le sol de la forêt pluviale est pauvre, sa végétation n'en est pas moins exubérante.

Deux ans auparavant, j'avais demandé à Flores de partager l'ayahuasca, un breuvage hallucinogène, avec trois biologistes moléculaires qui avaient fait le voyage jusqu'en Amazonie péruvienne pour voir s'ils pouvaient obtenir des informations scientifiques par cette voie. Flores avait été à la hauteur de la situation. Les séances d'ayahuasca qu'il dirigeait la nuit avaient en effet révélé aux scientifiques des informations sur leur recherche ; et pendant la journée, Flores avait passé des heures à répondre à leurs questions. Au sortir de cette expérience, les trois biologistes avaient déclaré que leur manière de voir la

nature avait été transformée. Sous la guidance de Flores, deux d'entre eux déclarèrent avoir communiqué pendant leurs visions avec les « mères des plantes » et obtenu d'elles des informations concernant leur recherche. Flores n'avait pas beaucoup parlé au cours de cette rencontre, sauf quand on s'adressait directement à lui, mais il respirait la confiance. Au lendemain d'une session d'ayahuasca que les scientifiques avaient jugée remarquable, je lui ai demandé comment il se sentait. Il a pointé son index droit devant lui et répondu : « Comme une balle. »

Ses mots sont revenus me hanter quand j'ai appris, plusieurs mois plus tard, que Flores avait marché sur le fil de détente d'un piège de chasseur en cueillant des plantes dans la forêt près de chez lui, et qu'il avait reçu à bout portant une volée de grenaille qui lui avait brisé le tibia. Ses amis étaient parvenus de justesse à le transporter dans un hamac et à l'amener à temps à l'hôpital. En arrivant, il avait perdu tant de sang que les docteurs dirent qu'il ne lui restait plus que quelques heures à vivre. Une transfusion lui sauva la vie, puis ils sauvèrent sa jambe en reconstituant l'os brisé avec des plaques d'acier. Flores passa une semaine à l'hôpital, puis insista pour retourner chez lui. Ses amis le ramenèrent jusqu'à sa retraite dans la forêt. Entre-temps, la police avait identifié l'homme qui avait placé le piège dans la forêt, un colon appauvri, venu d'une ville frontière proche. Flores aurait pu l'accuser et le faire jeter en prison. Cependant, il n'a demandé que de simples excuses, et il a exhorté l'homme à ne plus jamais placer de pièges.

Il me fallut une heure pour atteindre la maison que Flores avait construite au voisinage d'un torrent d'eau presque bouillante issue d'une source géothermique dans la forêt. J'arrivai en fin d'après-midi. Flores était debout dans son jardin. Ses hautes pommettes et ses yeux bridés étaient bien ceux d'un Indien d'Amazonie. Ses cheveux étaient coupés court et ses traits presque félins. Il portait une chemise, des jeans et des bottes en cuir.

Flores m'avait déjà raconté un peu sa vie. Ses grands-parents avaient été mis en esclavage pendant le boom du caoutchouc, au début du vingtième siècle, et déplacés de la vallée Pachitea plus bas le long du fleuve pour un travail forcé. Flores était né en 1951 au sein d'une communauté d'Indiens ashaninca qui commençaient tout juste à se libérer des chaînes du travail forcé. Enfant, il avait suivi l'école primaire et appris à lire, à écrire et à parler l'espagnol. Son père, un chamane réputé, était mort quand Flores avait dix ans. Sa mort avait encouragé Flores à suivre les traces de son père. Il avait passé sa jeunesse en apprenti auprès de plusieurs *maestros*. Il avait voyagé à travers tout le territoire ashaninca traditionnel, puis s'était installé à proximité de la ville de Pucallpa dont les habitants avaient progressivement fait appel à son art de spécialiste des plantes et de guérisseur. Récemment, il était revenu dans la Pachitea, terre natale de ses grands-parents, pour mettre sur pied un centre de guérison dans la forêt.

Flores a passé la majeure partie de son existence à transiter entre les mondes – forestier et urbain, indigène et métisse, traditionnel et moderne. Il est à la fois natif de ces terres, et hybride, culturellement parlant. Quand il marche pieds nus à travers la forêt en arborant une couronne de plumes et une robe de coton ashaninca traditionnelle, il a l'apparence d'un chamane indigène. Quand il porte une chemise, des jeans et des bottes, il se déplace avec aisance dans le monde métis.

Le jour après mon arrivée, j'ai interviewé Flores. Nous étions installés à même la plate-forme protégée par un toit de chaume où il conduit ses séances de guérison. Il était assis à un bureau fait maison et portait un serre-tête orné de motifs Ashaninca, et une chemise blanche qui le faisait ressembler à un docteur.

Mon intention était d'enregistrer ses propos sur l'intelligence chez les plantes et chez les animaux. J'ai commencé par lui demander ce qui, selon lui, distinguait l'espèce humaine des autres espèces.

– *Bueno*, a-t-il répondu, je peux dire que la différence, c'est que les humains ont une voix avec laquelle ils peuvent parler, tandis que les animaux ont un savoir, mais n'ont pas la capacité de parler de façon intelligible aux humains. La même chose est vraie des plantes. Donc, voilà la différence : nous ne pouvons pas parler avec eux. Mais grâce au savoir de la guérison et aux esprits des plantes, nous sommes capables de parler avec les animaux et aussi avec les plantes.

Je lui ai demandé comment. Il m'a répondu que les chamanes utilisent des préparations de plantes telle l'*ayahuasca* pour dialoguer avec les esprits des êtres de la nature. Au cours de leurs visions, les chamanes communiquent avec eux en chantant des *icaros*, ou chants chamaniques. Les plantes reçoivent ces chants « de l'intérieur, à partir du cœur », ajouta-t-il, et les chamanes remercient les plantes pour la connaissance et l'art de guérir qu'elles leur confèrent en leur chantant ces *icaros*.

Puis j'ai demandé à Flores ce qu'il pensait de l'intelligence chez les plantes et chez les animaux. Il a répondu que les animaux, tout en menant leur vie dans la forêt, font des projets et décident où aller pendant la journée et où passer la nuit. Et que les esprits des plantes vagabondent d'un endroit à l'autre pour guérir les gens, « car les plantes se préoccupent beaucoup de l'humanité ».

Plusieurs de ces idées se trouvaient clairement en porte-à-faux avec les perspectives académiques occidentales, mais ses propos exprimaient précisément ce que beaucoup d'habitants d'Amazonie tenaient pour vrai. Et puis, qui étais-je pour exclure la possibilité d'une communication entre les humains et les autres espèces ? Peut-être que les chamanes connaissent des choses sur la nature que la science n'a pas encore découvertes. Plutôt que de contredire Flores, j'avais envie de mieux saisir son point de vue. Je lui ai demandé s'il lui arrivait encore de parler avec le « propriétaire des animaux ».

– Oui, bien sûr. Il y a longtemps que j'ai cette pratique, et je l'applique à tout ce que je fais. Parce que toute action doit venir

du cœur, et c'est tout aussi vrai quand il s'agit de prendre un animal, ou une plante, dit-il. La dernière fois que j'ai parlé avec le propriétaire des animaux, c'était il y a une semaine. Quand j'ai voulu venir m'installer ici, par exemple, j'ai dû le demander au propriétaire des animaux.

– Pouvez-vous me dire à quoi il ou elle ressemble ?

– Il est apparu sous la forme d'un jaguar ; il était assis à mes côtés et il me regardait. Je le regardais aussi. Il s'est transformé en une personne. Alors, il m'a dit : « Tu peux passer, tu peux venir ici. »

Plus tard, ce même jour, nous sommes allés nous promener dans la forêt. Flores clopinait lentement sur le sentier. Depuis l'accident, il boitait en permanence. Nous avons atteint un endroit perché au-dessus d'une petite cascade et nous nous sommes assis sur des rochers entourés d'arbres près de la rivière. Pendant un moment, nous avons parlé de sa jambe blessée. Pour quelqu'un qui avait frôlé la mort, il faisait preuve d'un courage impressionnant. Je lui ai demandé si, pour lui, la mort était un problème.

– Ce n'est pas un problème, dit-il en riant.

– N'avez-vous pas peur de la mort ?

– Je n'ai pas peur de la mort parce qu'elle vient à moi et que nous sommes bons amis, elle et moi. Elle décidera quand me prendre.

– Comment vous êtes-vous lié d'amitié avec elle ?

– Je suis devenu ami avec elle à travers toutes les souffrances endurées pour devenir chamane. Dans le chamanisme, on doit connaître la mort. Plus que n'importe quoi d'autre, la mort est très proche du chamane, du *curandero*. Voilà pourquoi nous connaissons la mort de plus près. Elle nous accompagne.

Il me raconta que les guérisseurs risquent d'être attaqués par des « sorciers » – ou chamanes cherchant à faire du mal –, mais qu'il savait quelles plantes utiliser pour se protéger. « Je suis vraiment sincère quand je vous dis que je ne crains rien, absolument rien. Je suis bien centré dans ma pratique de médecine

traditionnelle et envers tout ce qui pourrait arriver contre moi. Je veux dire que pour moi, il n'y a pas de différence entre la vie et la mort. Je n'ai pas peur que quelqu'un me tue. S'ils veulent me tuer, ils le peuvent, mais je ne crois pas qu'ils le feront. Et il viendra un moment, pour lequel je recevrai des signes, où la mort viendra à moi, et je mourrai. Alors, je suis sincère quand je dis que rien ne me fait peur. »

Son absence de peur m'a poussé à lui demander s'il avait des conseils à me donner sur la manière de parler de l'intelligence dans la nature.

– Dites ce que vous pensez, a-t-il répondu. Rien de plus.

Ce soir-là, Flores conduisait une séance d'ayahuasca sur la plate-forme recouverte de chaume à proximité de la rivière. Il était assisté de plusieurs apprentis, hommes et femmes, qui travaillaient avec lui pour recevoir son enseignement. Il commença par tendre à chacun l'ayahuasca dans un petit verre. Le breuvage était épais et exceptionnellement suave, comparé aux mixtures que j'avais absorbées auparavant. Puis il souffla la lampe à kérosène et nous restâmes assis un bon moment dans le noir. Je me surprénais à entendre des mélodies dans le son de l'eau qui coulait à proximité, puis je me rendis compte que Flores s'était mis à siffler très doucement, à un volume à peine audible. Il continua en chantant de simples mélodies qui revenaient en boucle, avec une voix à la fois miel et lame de rasoir. Il chantait en ashaninca, en quechua et en espagnol, ainsi qu'en syllabes répétées sans fin, sans mots intelligibles, « naï-naï-naï na-naï-naï-naï ». Entre deux chants, il soufflait de la fumée de tabac sur les participants et prenait de petites gorgées d'eau parfumée qu'il pulvérisait dans l'air autour de nous. Comme spécialiste des plantes utilisant aussi les parfums, il est à la fois *ayahuasquero* et *parfumero*. Ses apprentis chantaient aussi à leur tour, soufflant de la fumée de tabac et de l'eau parfumée sur l'assemblée.

La combinaison de mixture hallucinogène et des vagues de son, parfum et fumée orchestrées par Flores déclenchait en moi

un flot de pensées et d'images. Dans la sphère des visions, je vis une longue figure élancée, sorte de mélange hybride entre le *Don Quichotte* de Picasso et le dieu égyptien Horus se promenant dans une scène de carnaval.

Je savais que j'halluciniais. Les chants de Flores résonnaient dans mes os comme une musique très ancienne remontant aux origines de notre espèce. Au bout d'un certain temps, il me revint de concentrer mon attention sur l'intelligence dans la nature. Je me vis comme un organisme biologique – mon cœur pompait le sang sans que j'y pense, mes poumons respiraient pendant que je dormais, mes neurones s'activaient quand je pensais, mon corps se réparait tout seul quand il était blessé. Je me sentais comme un robot plein d'eau en train de devenir conscient de lui-même, ce qui me faisait obliquer sur une question terrible : par qui avais-je été programmé ? Se pouvait-il qu'il y ait une intelligence à l'œuvre, non seulement dans le fonctionnement de mes cellules, mais aussi comme force créatrice à l'origine des formes vivantes ?

La question était terrible parce que je suis un agnostique – ce qui signifie que je sais que je ne sais pas, spécialement pour ce qui est des causes ultimes. Le mot vient du grec *a gnôstos*, non connu. La séance d'ayahuasca de Flores me conduisait à revoir mes présupposés. Une scène de mon adolescence me revint à l'esprit : j'étais dans la classe de religion d'un collège suisse, en train d'écouter le professeur, un moine bénédictin en bure blanche, à la tête ronde et chauve ; il parlait avec enthousiasme du « Dieu de l'univers ». À un moment, son crâne luisant attira mon attention et me poussa à lever la main et poser une question : « Puisque nos têtes ne sont pas plus grandes qu'un ballon de football, et que l'univers est tellement immense, comment pouvons-nous connaître avec certitude l'existence du Dieu de l'univers ? » À mon grand étonnement, le moine m'ordonna de quitter la classe à cause de l'« impertinence » de ma question. Debout dans le couloir désert de l'autre côté de la porte, j'eus soudain la certitude du bien-fondé de ma question. La taille de

nos cerveaux limite sûrement notre capacité de saisir les choses. Ainsi, comment une compréhension fiable de l'univers pourrait-elle tenir dans un peu plus d'un kilo de matière grise ? Dès cet instant, j'ai trouvé difficile de souscrire pleinement à des concepts que je ne peux pas comprendre, tel le « Dieu de l'univers ».

Tout au long de la séance d'ayahuasca de Flores, j'étais assis sur un matelas, gribouillant dans l'obscurité des notes sur mon carnet. Les visions d'ayahuasca contiennent parfois des informations et des idées, et le fait de les écrire permet de s'en souvenir.

Je savais que le concept de force créatrice à l'origine de la vie est une question de foi. Pour certains scientifiques et philosophes chrétiens, le monde biologique est la démonstration évidente d'un « dessein intelligent » (*intelligent design*). La façon dont les cellules synthétisent les protéines est, à leurs yeux, trop complexe et précise pour que cette évolution ne soit due qu'à une simple succession de mutations aléatoires. L'ADN de nos cellules contient une immense quantité d'informations complexes qui, dans une perspective chrétienne, ne peuvent trouver leur origine dans le hasard et la nécessité. Dans cette perspective, cette « complexité irréductible » est la preuve quasi certaine de l'existence d'un « concepteur intelligent », souvent une version à peine déguisée de Dieu. En associant « intelligence » et « dessein » lorsqu'ils discutent de la nature, les partisans de cette école abandonnent le domaine du vérifiable pour des notions théologiques. L'existence de Dieu, ou d'un concepteur, est affaire de croyance, et ne peut être démontrée, quelles que soient les preuves avancées sur la complexité cellulaire.

Je ne voulais aucune association avec la tendance « dessein intelligent ». En m'interrogeant sur l'intelligence dans la nature, je ne cherchais pas à explorer des questions théologiques indémonstrables sur le développement de la complexité des cellules. Je voulais plutôt comprendre le processus ininterrompu de

décision dans la nature et l'intelligence qui se manifeste, apparemment, dans le fonctionnement de tous les êtres vivants, y compris ma propre personne. Mon intérêt allait à l'intelligence des cellules et des organismes, plutôt qu'à des événements qui avaient peut-être eu lieu il y a des millions d'années, impliquant, par exemple, un « Dieu de l'univers ».

Et le fait de remplacer Dieu par le « hasard aveugle » ne résolvait pas le problème. L'athéisme est le déni du théisme, ou la face inverse de la même pièce. Le terme vient du grec *a theos*, sans dieu. La notion que le hasard et la nécessité suffisent à expliquer la totalité de la nature est une croyance qui n'a pas été démontrée de manière concluante. L'évolution continue, mais croire que le hasard la dirige est un acte de foi.

La séance d'ayahuasca touchait à sa fin. Flores avait cessé de chanter, nous laissant baigner dans le son de la rivière jaillissante et de la forêt nocturne. Mon esprit débordait de pensées. Je m'interrogeais sur l'importance du hasard. La nature semble utiliser le hasard comme une source de variété pour se diversifier et s'améliorer. Mes caractéristiques physiques sont issues d'un brassage de gènes qui a eu lieu dans les cellules reproductrices de mes parents. Le paquet de cartes génétique est brassé et rebrassé d'une génération à l'autre, en un processus hautement coordonné appelé méiose, qui semble utiliser l'aléatoire pour nourrir la diversité. Le hasard peut m'avoir enrichi, mais je doute qu'il soit à mon origine. Le fait que la vie sur terre soit apparue par hasard est aussi difficile à prouver que la croyance en l'œuvre d'un créateur, qu'il s'agisse de Dieu ou de toute autre entité. Certaines questions intriguent les humains parce qu'elles les concernent, mais cela ne signifie pas qu'on puisse y répondre de façon définitive.

Ayant fini de prendre des notes, je suis resté assis tranquillement dans le noir.

CHAPITRE 3

Transformateurs

Après ma visite à Flores, je me suis rendu jusqu'à Pucallpa, la deuxième plus grande ville d'Amazonie péruvienne. Dans le temps, la région de Pucallpa faisait partie du territoire des Indiens shipibo, mais elle a été colonisée et déboisée au cours du vingtième siècle. Malgré cette perte et cette dévastation, les Shipibo ont gardé une identité forte. Ils ont récemment obtenu des titres fonciers pour de vastes parties de leur territoire, et ils continuent à produire un bel artisanat pour lequel ils sont renommés. Ils sont également connus pour le pouvoir de leurs chamanes.

J'allai rendre visite à un chamane Shipibo, Guillermo Arevalo Valera. Auteur du livre *Les Plantes médicinales et leurs bienfaits pour la santé*, que la Fédération des peuples indigènes d'Amazonie péruvienne a publié en 1994, Guillermo est reconnu par ses pairs. Certaines personnes viennent même d'autres pays pour le consulter. Il habite dans la banlieue de Pucallpa un quartier peuplé en majeure partie de Shipibo. En arrivant, j'ai frappé à la porte et trouvé plusieurs de ses enfants assis dans la salle de séjour, en train de regarder la télévision et de caresser un grand boa constrictor qu'ils venaient de capturer. Guillermo n'était pas encore de retour. Les enfants m'ont invité à entrer pour l'attendre. Comme les serpents me mettent mal à l'aise, j'ai choisi de m'asseoir à l'autre bout de la chambre, à la table à manger, plutôt qu'avec les enfants sur le canapé. Contrairement à d'autres

maisons du voisinage, pour la plupart de simples cabanons ayant l'électricité, la maison de Guillermo est pourvue d'un sol en ciment et d'une cuisine bien équipée.

J'ai passé plusieurs heures à mettre mes notes à jour, en surveillant le serpent du coin de l'œil. C'était un animal assez beau et calme, de couleur grise marbrée de noir, avec le bout de la queue orange. À un moment, les enfants sont sortis, et le boa s'est glissé sous le canapé à l'abri des regards.

Guillermo est revenu tard dans l'après-midi. Petit et trapu, de présence imposante, il m'a chaleureusement salué et invité à le suivre dans son bureau, à l'étage supérieur de la maison. Au cours de notre conversation, je lui ai demandé s'il lui arrivait encore, au cours de ses visions, de communiquer avec le « propriétaire des animaux ».

– *Bueno*, me répondit-il. Oui, cela est arrivé. J'ai communiqué avec lui plusieurs fois à l'époque où je ne venais pas en ville. Mais maintenant, ce contact n'est plus possible pour la bonne raison que la nature est assez contaminée et déjà en partie détruite. Par conséquent, les esprits des animaux ne peuvent plus vivre en ces lieux. Maintenant, les esprits des animaux, de la forêt, de la terre, vont vers d'autres endroits, inconnus. Nous ne savons pas où ils vont, mais ils quittent les lieux, comme s'ils les abandonnaient, et les lieux ne sont plus habités par des esprits.

Ce soir-là, j'ai pris part à une séance d'ayahuasca conduite par Guillermo et sa mère Maria, âgée de quatre-vingts ans, dans une hutte de l'arrière-cour. Les participants étaient surtout des gens du lieu recherchant des conseils, ou un soulagement à leurs maux physiques. L'équipe de chamanes mère et fils chantait des mélodies complexes et intriquées, semblables aux motifs labyrinthiques de l'artisanat shipibo. Leurs voix chevrotaient tandis qu'ils chantaient dans leur langue des cascades de notes aiguës.

Cela me rappelait la musique des charmeurs de serpents, hypnotique, et qui vous dresse les cheveux sur la tête. Cette musique

se combinait avec le bruit de fond du voisinage – une discothèque en plein air, le vrombissement des motos passant à proximité et le bourdonnement des insectes –, le tout formant une enveloppe de sons hallucinante. Grâce à leurs chants de guérison dans l'arrière-cour, les deux chamanes maintenaient leurs traditions en vie dans un monde en mutation.

Le chamanisme shipibo change vite, à en croire Rama Leclerc, une anthropologue française qui a consacré des études à l'apprentissage du savoir chez les Shipibo de la région de Pucallpa. Elle m'a dit : « Certains jeunes chamanes des communautés urbaines incorporent des prières chrétiennes à leurs séances. En fait, ils considèrent les esprits des animaux et des plantes dont les chamanes traditionnels détiennent leur pouvoir comme des forces inférieures créées par une entité supérieure, Dieu. Il en découle que les "chamanes modernes", comme ils se nomment eux-mêmes, doivent maintenant établir un contact direct avec la source de pouvoir principale. En réaction à cela, certains vieux chamanes prétendent que la jeune génération ne sait plus respecter les règles strictes de l'apprentissage, et que la connaissance du monde naturel lui échappe. »

Le chamanisme se transforme.

De Pucallpa, j'ai pris un avion pour Iquitos, la plus grande ville d'Amazonie péruvienne. Et de là, je me suis rendu à Zungarococha, le « lac Poisson-Chat », pour visiter une école interculturelle bilingue où, dans le cadre d'un programme de formation, des jeunes gens issus de quinze sociétés indigènes apprennent à enseigner leur langue et leur culture, ainsi que l'espagnol et les sciences. J'avais rendez-vous avec trois « spécialistes indigènes » qui enseignent dans ce programme de formation – chacun des trois ayant une connaissance approfondie de sa langue et de sa culture propres. Comme ces spécialistes indigènes travaillent main dans la main avec des professionnels péruviens – mathématiciens, linguistes et agronomes –, ils

ont l'habitude de faire le pont entre le savoir indigène et les sciences.

Nous nous sommes rencontrés dans la véranda de leur logement, une petite maison en bois pourvue de moustiquaires, qui donnait sur le lac. Ils savaient que je voulais les interroger à propos de l'intelligence dans la nature.

Le premier spécialiste, Nahwiri Rafael Chanchari, représentait le peuple shawi. Son visage ressemblait à celui d'un renard et il avait d'épais cheveux noirs coupés au bol. Comme ses collègues, il était vêtu simplement et portait une chemise à manches courtes, des pantalons et des sandales. J'ai commencé par lui demander pourquoi, selon lui, les scientifiques avaient des difficultés à percevoir le monde naturel comme étant peuplé d'esprits.

– Eh bien, a-t-il répondu, je crois que la science est matérialiste. La science veut trouver une évidence concrète quand elle essaie de résoudre les questions qu'elle se pose à elle-même. Dans le monde indigène, nous aussi, nous croyons en l'existence du monde matériel. Les arbres existent, en tant que matière, en tant que bois, en tant que bois à brûler. Mais cette existence matérielle n'est pas tout. Au plus profond, ils sont aussi des êtres. Et la science le reconnaît aussi quand elle donne aux insectes et aux arbres le nom d'êtres vivants. Nous autres Shawi pensons que tout être vivant a une âme, qui est aussi son esprit. S'il n'en avait pas, il n'aurait pas de raison d'exister. Prenez une pierre, par exemple. Pour la science, la pierre est une matière inorganique, c'est ainsi je pense qu'on l'appelle, une matière dépourvue de vie. Et pour la science, la terre et l'eau sont de la même façon inanimées. Mais pour les Shawi, une pierre possède une âme, et l'eau également. La terre aussi a sa mère. Pour nous, tout est vivant.

– Est-ce que chaque petite pierre a une âme ? lui ai-je demandé.

– Cela dépend de sa taille. Un simple petit caillou n'en a pas. Mais une pierre de dix mètres cubes ou d'immenses rochers

d'une quinzaine de mètres cubes ont une mère. Les minuscules grains de sable n'en ont pas. Cependant, quand on est sur la plage, on perçoit que la totalité du sable en tant que plage a une mère ou une âme.

Il parlait couramment l'espagnol et semblait avoir déjà réfléchi à ces questions. Je lui ai demandé s'il pouvait expliquer la différence entre l'« esprit » d'une plante individuelle et sa « mère ». Il est resté silencieux un instant, puis a répliqué :

– Bon. Un arbre a une âme tout comme les êtres humains. Le monde chrétien considère que les humains ont une âme. Il en va de même pour l'arbre. L'arbre est matériel et possède aussi une âme ou un esprit qui peut vous apparaître en rêve sous la forme d'une personne. Et pris comme un tout, les arbres ont une mère, c'est-à-dire la mère de la forêt, et mère de l'espèce. Nous l'appelons *tana-ashi*, mère d'un écosystème en quelque sorte. Dans un endroit où poussent beaucoup de palmiers *irapay*, par exemple, là se trouve la mère de l'*irapay*. C'est en somme une âme de groupe. Voilà la différence entre la mère et l'âme de chaque arbre.

Le deuxième spécialiste, Akushti Butuna Karijuna, représentait la population des Kichwa. Il avait un visage rond, des cheveux courts et des yeux noirs perçants. Je lui ai demandé s'il pouvait établir une comparaison entre la science occidentale et la connaissance indigène.

– *Bueno*, a-t-il dit. Nous parlons à partir de nos visions, alors que les scientifiques ne croient pas aux visions. À la place, ils étudient. Voilà pourquoi les choses sont un peu différentes.

Voyait-il une différence entre la connaissance acquise au travers de visions et celle qui provenait des études ? « J'entends certains *gringos* dire des choses qui ressemblent un peu à ce que nous voyons dans nos visions, répondit-il. C'est au même niveau. Mais, en ce qui concerne la création des êtres humains, par exemple, je ne sais pas... les *gringos* possèdent une autre connaissance dans laquelle ils ont été élevés. Notre savoir est autre. Nous le tenons des animaux, des oiseaux par exemple.

L'oiseau des Kichwa est le perroquet à face jaune. Notre origine et notre multiplication trouvent leur origine chez cet oiseau. »

Chez les indigènes d'Amazonie, il est commun de croire qu'il existe un lien entre le monde humain, les plantes et les animaux ; et aussi, que la nature se métamorphose et se transforme constamment.

J'ai demandé au troisième expert, Usi Kamarambi, pourquoi, selon lui, les *gringos* avaient du mal à comprendre que les plantes abritent des esprits. Il avait un visage joyeux, sans âge. « Parce que, simplement, ils ne savent pas, dit-il, voilà pourquoi. Nous autres, Kandoshi, nous croyons que les plantes, les arbres, que tout a un esprit. »

Je lui ai demandé s'il pensait que le problème des *gringos* était un manque de connaissance. « Oui, un manque de connaissance pour comprendre la nature, opina-t-il. Un manque de savoir-faire sur la manière d'avoir des visions, ce qu'il faut boire, comment y arriver. »

Il parlait un espagnol rudimentaire doublé d'un fort accent guttural. Il ajouta que les Kandoshi utilisent l'ayahuasca, la datura (*toé*) et le tabac pour obtenir des visions qui leur permettent de comprendre la nature. Qu'il avait utilisé ces plantes lui-même et avait parlé avec les « mères » des plantes, en particulier avec le « propriétaire de la datura » (*el dueño de toé*). Je lui ai demandé s'il avait aussi parlé avec le « propriétaire des animaux », l'entité qui représente les « propriétaires » de toutes les espèces.

– Je n'ai pas parlé avec la propriétaire des animaux, non. J'ai seulement pu la voir. J'ai pu voir l'endroit où tous les animaux existent, toutes sortes d'animaux différents. Et là, il y avait leur propriétaire, la mère des animaux.

Il utilisait les termes « propriétaire » et « mère » de façon interchangeable.

– De quoi avait-elle l'air ?

– Son corps était recouvert de plumes d'animaux, plumes

d'oiseaux, et ses pieds étaient ceux d'une personne, ses doigts aussi, mais elle avait des ongles très longs.

Il décrivait la propriétaire des animaux sous la forme d'un être hybride, comme le font beaucoup de peuples indigènes à travers le monde.

Un grand perroquet vert perché sur un palmier voisin s'était mis à pousser des cris stridents et rauques, interrompant notre conversation. Quand il se calma, je dirigeai mes questions sur le thème de l'intelligence dans la nature. Je demandai aux spécialistes s'ils pensaient que les animaux pensaient.

Akushti Butuna Karijuna, le spécialiste kichwa, répondit :

– Nous voyons les animaux, ils ont leur propre pensée. Les fourmis, par exemple, préparent leurs provisions, stockent la nourriture, vont la chercher et la ramènent au bon endroit.

– Pensent-elles à l'avenir ?

– Oui, à l'avenir. Voilà pourquoi, nous, dans notre savoir, voyons que les animaux pensent aussi. Ils savent comment ils vont se protéger, survivre, préparer leur nid.

Usi Kamarambi, le spécialiste kandoshi, déclara :

– Les animaux, les insectes par exemple, ont aussi leurs idées, leurs pensées. Simplement, nous ne pouvons pas entendre qu'ils ont leur propre voix. Ils se comprennent, s'entendent entre eux. Les insectes se parlent. Quand les fourmis coupeuses de feuilles, par exemple, vont chercher des feuilles dans tel ou tel endroit, elles y vont toutes ensemble, puis elles transportent les feuilles jusqu'à leur nid. C'est comme une fête de travail communautaire. Elles aussi ont leur expérience, elles savent comment connaître.

Nawhiri Rafael Chanchari, le spécialiste shawi, dit à son tour :

– Nous croyons que les animaux pensent. Les singes, les oiseaux, les animaux, quand ils vous voient, ils sentent votre odeur et ont tendance à fuir. C'est pourquoi nous pensons que dans leur monde, ils pensent et conversent aussi entre eux. Quand nous voyons des pécaris [cochons sauvages], nous voyons des

animaux. Mais dans leur monde, ce ne sont pas des animaux, ce sont aussi des êtres humains et ils peuvent communiquer entre eux. Ils font des plans. Ils contrôlent si leur groupe est au complet et, si l'un d'entre eux manque, ils cherchent à savoir ce qui s'est passé. Ils gardent en mémoire la liste des endroits où ils ont dormi, et vérifient l'état des choses au gré de leurs déplacements. Cela, c'est l'expérience que nous tenons de nos ancêtres. En d'autres termes, les animaux ont leur propre monde. Dans leur monde, ils sont aussi des êtres humains. Nous voyons ce qui nous semble être des animaux, mais dans leur monde à eux, ils réfléchissent et raisonnent, et ensuite seulement, ils se mettent à la recherche de nourriture.

Il ajouta que les animaux et les plantes abritent des esprits que les humains peuvent voir quand ils ont bu l'*ayahuasca*. Que les esprits sont des êtres qui nous apparaissent sous une forme humaine lorsqu'ils veulent se faire voir pour nous apprendre quelque chose.

– Ils peuvent se transformer. Mais un être humain peut aussi se transformer, selon sa capacité de chanter des chants *icaro* (chamaniques). Par exemple, un homme peut se transformer en jaguar.

– Que faut-il faire pour cela ?

– Connaître beaucoup de chants *icaro*, par exemple. Il y a des paroles qui sont très dangereuses, même si elles font partie d'un chant *icaro*. Quand on les apprend, on devient un jaguar, mais sous une forme humaine. Ce chant ne peut pas être enseigné. Voilà une différence : les êtres humains, selon leur capacité, peuvent se transformer en jaguar. Tandis qu'un jaguar ne peut pas se transformer en un être humain.

J'ai demandé au spécialiste *kandoshi* de m'expliquer comment les chamanes se transforment en jaguar. Il a répondu :

– Le chamane transforme son âme en jaguar, pas son corps. Et ce jaguar peut se déplacer et faire du mal aux autres, parce que le chamane le dirige, parce que son âme est dans le corps du jaguar. Mais ce jaguar est un animal. Alors, l'âme du chamane

se transforme et entre dans le jaguar. Voilà où se trouve l'âme du chamane. Dans le jaguar.

À la fin de notre rencontre, les trois spécialistes m'ont montré un livre de cosmovisions amazoniennes qu'ils venaient de publier avec des collègues. Le volume contenait des centaines d'illustrations sur la façon de voir le monde des indigènes d'Amazonie. En le feuilletant, j'ai remarqué de nombreux dessins d'êtres hybrides, moitié humain et moitié animal.

Cette nuit-là, assis sur mon lit dans ma chambre d'hôtel à Iquitos, sous la lumière crue d'une ampoule électrique à nu, je repensais à ce que les trois spécialistes m'avaient dit. J'avais le sentiment qu'ils m'avaient transmis des informations importantes que je ne parvenais pas à comprendre. Je me sentais à la fois excité et perplexe. Je savais que la transformation en animal est un thème récurrent chez les chamanes d'Amazonie. L'anthropologue Gerardo Reichel-Dolmatoff, qui a consacré sa carrière à l'étude des peuples indigènes de Colombie, a abondamment traité du sujet. « Tous les chamanes sont des transformateurs, écrit-il, et ont la réputation de se transformer à volonté en jaguars, serpents énormes, harpies et autres créatures effrayantes. » Selon Reichel-Dolmatoff, les chamanes utilisent des plantes hallucinogènes pour s'approprier la tournure d'esprit d'une autre espèce. « Prostré dans son hamac, il va gronder et haleter, battre l'air de ses doigts comme s'ils étaient des griffes, et ceux qui assistent à la scène seront convaincus que son âme errante s'est transformée en félin sanguinaire. Toutefois, les chamanes ne prétendent pas acquérir une essence animale, mais simplement "se conduire comme des animaux", ils acquièrent certaines aptitudes pour lesquelles ces animaux sont connus : vol d'oiseau, agressivité, vision nocturne, agilité. »

Certaines des plus anciennes représentations préhistoriques montrent des humains avec des traits animaux, en particulier des humains à tête d'oiseau. Lascaux, la grotte française surnommée « Chapelle sixtine de la préhistoire », est, entre autres, célèbre

pour une fresque représentant un homme à tête d'oiseau, dans une scène qui inclut également un bison et un oiseau sur un bâton. Cette image a été peinte il y a quelque dix-sept mille ans.

Dans une autre grotte française, les Trois-Frères, qui contient des centaines de peintures et de gravures préhistoriques d'animaux, on peut voir plusieurs figures à moitié humaines, dont la plus remarquable est un cerf doté de jambes et de bras humains. Connue sous le nom de « Sorcier », cette image apparaît distinctement au-dessus de gravures en surimpression représentant une multitude d'animaux. La peinture date d'il y a approximativement treize mille ans.

À Chauvet, une grotte récemment découverte en France et qui contient les peintures les plus anciennes connues (elles sont estimées à environ trente et un mille ans), il y a l'image d'un être composite, femme, bison, et félin.

Il est difficile de savoir quelle était l'intention réelle des artistes de la préhistoire qui ont produit ces images. Ils sont morts il y a trop longtemps, et n'ont pas laissé de notes pour expliquer leurs peintures. Toutefois, comme elles remontent si loin dans l'ascendance de notre espèce, des spécialistes ont été tentés de les interpréter. Pour certains d'entre eux, ces figures chimériques représentent de « grands sorciers », ou des chamanes partiellement transformés en animaux, ou encore le/la propriétaire des animaux. Mais d'autres experts ont fait remarquer que les chamanes n'ont nul besoin de grottes ou d'imagerie réaliste d'animaux. Leur principal travail consiste à contacter les esprits de la nature au travers de visions et de rêves – activité qui laisse peu, voire aucune trace. En d'autres termes, il n'est pas facile de prouver que les humains de la préhistoire pratiquaient ce que nous appelons maintenant « chamanisme ». Mais les étonnantes chimères dessinées par les artistes de l'époque montrent bien la capacité à s'identifier à des animaux, et suggèrent une conscience des transformations qui opèrent dans la nature. Ces représentations hybrides véhiculent de multiples significations.

Toutes les espèces du monde ont trouvé leur origine et évolué au travers de transformations. La biologie contemporaine a démontré que les humains partagent certaines séquences génétiques avec les bactéries, les champignons, les vers, les bananes et les singes. Nos très lointains ancêtres étaient des organismes unicellulaires. Les espèces ne sont pas fixées une fois pour toutes, elles évoluent avec le temps. Et pour évoquer cela, les néodarwiniens utilisent un logo chimérique : un poisson avec des jambes.

Il n'y a encore pas si longtemps, les observateurs rationalistes taxaient de « métaphores infantiles » les croyances animistes des peuples indigènes sur la parenté des humains avec la nature. Or, maintenant, la science montre que notre parenté avec d'autres espèces est littéralement vraie. Chaque être vivant, jusqu'aux plus minuscules bactéries, est fait de protéines assemblées selon les instructions encodées dans les molécules d'ADN et d'ARN. L'hérédité partagée entre espèces est telle que l'on retrouve les quatre-vingt-dix-neuf pour cent des gènes des souris chez les humains.

Nous sommes tous des hybrides, résultat d'innombrables transformations. Tous, sans exception, des transformateurs.

CHAPITRE 4

Hiver fébrile

Après le voyage au Pérou, je suis revenu chez moi, sur les contreforts du Jura, à la frontière entre la Suisse et la France. À cette époque, j'habitais le plus souvent une vieille maisonnette sur les collines, chauffée par un fourneau à bois et une cheminée à feu ouvert. Comme nous étions en octobre, j'ai empilé du bois pour l'hiver. Puis j'ai retranscrit les entretiens faits en Amazonie et lu des livres et des journaux. J'allais courir régulièrement, et je me promenais dans la forêt. Des amis ont exprimé leur inquiétude quand je leur ai confié que je poursuivais des recherches sur l'intelligence chez d'autres espèces dans ce coin perdu.

Bien que je n'aie pas de formation scientifique – l'anthropologie étant une forme d'interprétation –, je lis depuis des années des magazines comme *Nature*, *Scientific American* et *La Recherche*. Mes dossiers contenaient des informations sur toutes sortes de sujets : ADN, bactéries, cerveaux, dinosaures, embryons, futurologie, gènes, humains, intelligence, langage, mitochondries, nématodes, ovules, protéines, robots, spermatozoïdes, tabac, virus... Je les ai repris dans le but d'estimer ce que les scientifiques avaient appris au cours des dernières années sur l'intelligence dans la nature.

À en croire bon nombre d'études récentes, les chimpanzés possèdent une culture et utilisent un langage, les dauphins sont capables de se reconnaître dans un miroir, les corbeaux fabriquent des outils standard, les chauves-souris vampires se

partagent réciproquement de la nourriture, et les perroquets font des réponses qui semblent bien signifier la même chose pour eux que pour les humains.

Alex, un perroquet gris africain élevé dans un laboratoire d'études en Arizona, peut compter jusqu'à six et reconnaître et nommer plus de cent objets différents, ainsi que leur couleur, leur forme et leur texture. Quand on lui désigne deux objets, Alex sait dire lequel est plus grand ou plus petit, et quels attributs sont identiques ou différents. Si on lui présente deux crayons jaunes et qu'on lui demande : « Quelle différence ? », il répond : « Aucune. » Mais à la question : « Combien ? », il répond : « Deux. » Même lorsque des personnes inconnues de lui le questionnent sur des objets qu'il n'a jamais vus auparavant, Alex répond correctement aux questions huit fois sur dix. Il peut également exprimer des désirs, en gloussant « Viens ici ! » quand il a besoin d'attention, ou « J'veux aller chaise », quand il s'ennuie sur son perchoir. Il tourne le dos aux gens et dit : « Non ! » quand il est fatigué qu'on lui pose des questions. Alex, choisi au hasard dans un magasin d'animaux, ne semble pas être le plus intelligent des perroquets gris africains. Et les perroquets ne sont pas, dit-on, des oiseaux exceptionnellement doués. Ce qui distingue Alex des autres oiseaux parleurs, ce sont les méthodes d'apprentissage qui lui ont été appliquées. Les techniques utilisées par l'entraîneur d'Alex, la scientifique Irene Pepperberg, sont basées sur l'étude des oiseaux en milieu naturel. Il semble que les jeunes perroquets apprennent à vocaliser en observant leurs congénères et parents. Pepperberg a entraîné Alex en le laissant observer l'enseignement qu'elle donnait à quelqu'un d'autre. Maintenant, les scores d'Alex aux tests cognitifs égalent ceux des dauphins et des chimpanzés. Alex a un cerveau de la taille d'une noix, mais il sait ce qu'il dit.

Des créatures au cerveau minuscule peuvent également faire preuve de ressources étonnantes. Les fourmis coupeuses de feuilles, par exemple, dont le cerveau a la taille d'un grain de

sucré, pratiquent une agriculture en sous-sol et utilisent des antibiotiques à la bonne mesure – et cela depuis quelque cinquante millions d’années. Habitant dans les forêts pluviales d’Amérique centrale et du Sud, ces fourmis se nourrissent en contournant les défenses des plantes à l’aide d’un champignon. Elles coupent la plante, grattent ses défenses antifongiques (tel le revêtement cireux des feuilles), mâchent la pulpe de la feuille jusqu’à la réduire en purée qu’elles utilisent comme substrat sur lequel elles font pousser leurs cultures fongiques. Le champignon à son tour élimine les substances insecticides contenues dans les feuilles qu’il digère et dont le tissu fongique absorbé finalement par les fourmis est exempt. Leur fourmilière est en général souterraine, une excavation avec des milliers de chambres pleines de champignons gris. Elle peut atteindre la taille d’une salle de séjour humaine, et abriter jusqu’à huit millions de fourmis. Ce champignon est la nourriture principale des fourmis, qui en font la monoculture. Mais ces fermes souterraines sont à la merci des parasites et des insectes. L’un de ces parasites est une sorte de moisissure dévastatrice que l’on ne trouve que dans les jardins fongiques de fourmis. Les fourmis coupeuses de feuilles ne se contentent pas de désherber, de composter et d’élaguer leurs cultures de champignons ; elles travaillent aussi sans relâche pour en écarter la moisissure parasite. Une équipe de scientifiques a découvert récemment que, pour cela, elles utilisent la bactérie *Streptomyces* qu’elles transportent sur certaines parties spécialisées de leur corps. Cette bactérie est à l’origine de la moitié des antibiotiques utilisés en médecine. Il semble donc que les fourmis aient utilisé des antibiotiques depuis des millions d’années pour protéger leurs cultures de champignons, sans développer la résistance pathogène dérivée de leur usage exagéré chez les humains. Comment pourraient-elles faire tout cela sans être dotées d’une forme d’intelligence ?

La définition d’« intelligence » est problématique, et je me suis penché pendant plusieurs jours sur la question. J’ai remarqué que l’intelligence est souvent définie en termes de capacités

humaines. Les définitions incluent « la capacité de résoudre des problèmes ou de créer des produits valorisés dans le cadre d'un ou de plusieurs contextes culturels », « un potentiel biopsychologique propre à notre espèce pour traiter certains types d'information selon certaines modalités », ou encore « l'habileté dans l'usage de média (tel qu'un ordinateur ou autre système de symboles) ». Ces définitions impliquent une absence d'intelligence chez les autres espèces. D'autres soulignent la multiplicité des formes d'intelligence – linguistique, logico-mathématique, émotionnelle, musicale, pratique, spatiale, et ainsi de suite. L'intelligence a également été définie comme une capacité d'abstraction. Des anthropologues ont relevé que, dans certaines cultures, le concept d'intelligence n'existe pas, alors que d'autres en donnent une définition surprenante pour des Occidentaux, telle l'aptitude à bien écouter, ou un sens éthique développé, ou encore une capacité à observer, à interpréter et à négocier avec le paysage social et physique. L'intelligence est un concept difficile à cerner. En pareil cas, je reviens en général à l'étymologie. Dans son sens original, l'intelligence se rapporte au fait de choisir entre (*inter-legere*), et implique la capacité de prendre des décisions.

L'hiver arrivait. Je me plongeai plus profondément dans la littérature scientifique sur l'intelligence dans la nature. Peu importe la quantité de bois que je brûlais, cette maisonnette du dix-neuvième siècle restait froide selon les critères contemporains. Avec un ami, j'isolai les fenêtres, qui étaient vieilles, munies de vitres simples, mais le froid pénétrait quand même. Le chauffage central et le vingtième siècle m'avaient ramolli. Se pelotonner près du feu, voilà souvent la seule option pour avoir chaud. Je portais d'épaisses couches d'habits, y compris des sous-vêtements thermiques et des gants troués au bout des doigts pour pouvoir taper à la machine. Étrangement, je trouvais ces circonstances satisfaisantes, parce qu'elles transformaient l'activité intellectuelle en un défi physique.

En passant en revue les données scientifiques récentes sur le comportement intelligent des organismes, j'étais frappé par le contraste avec la biologie qu'on m'avait enseignée au collège dans les années 1970. À ce moment, la plupart des scientifiques semblaient s'accorder à considérer les plantes et les animaux comme des objets dénués d'intention. Jacques Monod, l'un des fondateurs de la biologie moléculaire, écrivait dans son livre *Le Hasard et la Nécessité* : « La pierre angulaire de la méthode scientifique est le refus systématique de considérer comme pouvant conduire à une connaissance "vraie" toute interprétation des phénomènes donnée en termes de causes finales, c'est-à-dire de "projet". » Cette méthode considère les êtres vivants comme des mécaniques. À propos des abeilles, par exemple, Monod écrit : « Nous savons que la ruche est "artificielle", en ce sens qu'elle représente le produit de l'activité des abeilles. Mais nous avons de bonnes raisons de penser que cette activité est strictement automatique – actuelle, mais non consciemment projective. »

Depuis Monod, les perspectives scientifiques ont évolué. Le biologiste américain, Donald Griffin, un pionnier dans l'étude de la cognition animale, a récemment déclaré : « Les abeilles ne cessent d'apprendre. Chaque jour, elles doivent apprendre où se trouve la nourriture puis le communiquer... Par conséquent, l'idée qu'elles sont rigides et un peu mécaniques – à Cornell, un de mes collègues en parle comme si les abeilles étaient des grille-pain volants – induit en erreur. Elles sont en fait plutôt complexes. Bien que leur activité soit limitée par rapport à celle des mammifères, elle n'est pas complètement différente. Il me semble très vraisemblable qu'il y ait une sorte de continuum s'étendant du monde mental des abeilles jusqu'à nous. »

Dans la communauté scientifique, les mentalités ont changé au point que Donald Kennedy, l'éditeur en chef de la revue *Science*, a déclaré en 2002 : « Au fur et à mesure qu'on en apprend plus sur le comportement des animaux, il devient de

plus en plus difficile, en tout cas pour moi, de délimiter une série de propriétés qui seraient uniquement et spécifiquement humaines, et puissent être définies sans ambiguïté comme telles. Alors même que nous recueillons de plus en plus d'information sur les capacités neuronales et comportementales des animaux, je pense que la zone que nous considérons comme exclusivement humaine se rétrécit progressivement. En apprendre plus sur la manière dont leur cerveau fonctionne, risque bien de changer notre attitude par rapport à la différence qui nous sépare d'eux, réduisant ainsi notre sentiment d'être si spécial. Et, je dois vous le dire, cette réflexion m'entraîne dans un espace où je ne me sens pas tout à fait à l'aise. Il y a là un accroissement embarrassant de la connaissance. À long terme, cela pourrait changer notre perspective sur notre place dans le monde vivant. »

Aujourd'hui, il n'est plus nécessaire dans le monde scientifique de considérer les animaux comme des automates ou des machines. Un *accroissement embarrassant de la connaissance* a eu lieu. Mais je me demandais tout de même pourquoi la perspective mécaniste avait prévalu si longtemps dans les sciences du vingtième siècle.

Afin de trouver des réponses, je suis allé fouiller dans l'histoire de la biologie. Je suis retourné au philosophe anglais Francis Bacon, l'un des fondateurs de la science moderne au début du dix-septième siècle. Bacon avait commencé par critiquer le philosophe grec Aristote, pour qui tout, dans la nature, se comporte de façon à atteindre un objectif. Pour Bacon, au contraire, atteindre un but est une activité spécifiquement humaine, et attribuer des buts à la nature en donne fallacieusement une représentation humaine. Les humains tombent dans le piège de la téléologie (du grec *telos* signifiant fin, ou but), parce que, pour reprendre les arguments de Bacon, nous avons une fâcheuse tendance à nous projeter sur le monde. Ce phénomène est connu sous le nom d'anthropomorphisme, un terme dérivé de deux mots grecs pour *humain* et *forme*, et qui signifie l'attribution de qualités humaines au non-humain. Après Bacon, il est

apparu contraire à la méthode scientifique d'attribuer de la subjectivité à la nature, car la tâche de la science est d'objectiver le monde naturel. L'anthropomorphisme était devenu un « péché capital » pour les scientifiques.

Le philosophe français René Descartes a été jusqu'à déclarer que les animaux sont des machines. Dans son livre *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*, Descartes écrivait : « [...] ce qui ne semblera nullement étrange à ceux qui, sachant combien de divers *automates*, ou machines mouvantes, l'industrie des hommes peut faire, sans y employer que fort peu de pièces, à comparaison de la grande multitude des os, des muscles, des nerfs, des artères, des veines, et de toutes les autres parties qui sont dans le corps de chaque animal, considéreront ce corps comme une machine qui, ayant été faite des mains de Dieu, est incomparablement mieux ordonnée et a en soi des mouvements plus admirables qu'aucune de celles qui peuvent être inventées par les hommes. [...] C'est aussi une chose fort remarquable que, bien qu'il y ait plusieurs animaux qui témoignent plus d'industrie que nous en quelques-unes de leurs actions, on voit toutefois que les mêmes n'en témoignent pas du tout en beaucoup d'autres : de façon que ce qu'ils font mieux que nous ne prouve pas qu'ils ont de l'esprit, car à ce compte ils en auraient plus qu'aucun de nous, et feraient mieux en toute autre chose ; mais plutôt qu'ils n'en ont point, et que c'est la nature qui agit en eux selon la disposition de leurs organes : ainsi qu'on voit qu'une horloge, qui n'est composée que de roues et de ressorts, peut compter les heures et mesurer le temps plus justement que nous avec toute notre prudence ».

Descartes, pour se référer à ce dont les animaux manquaient, utilisait le terme d'esprit. Pour lui, seuls les êtres humains ont une âme, et par conséquent, il ne croit pas que les animaux puissent « réellement » éprouver la douleur. Descartes a été de ce fait un pionnier de la pratique de la vivisection, ou dissection d'animaux vivants.

Le point de vue de Descartes me paraissait incroyable. Comment quelqu'un pouvait-il sérieusement penser qu'un animal qui hurle n'éprouve pas de douleur ? Cependant, j'avais aussi de la sympathie pour lui. Descartes écrivait à une époque où les autorités religieuses exécutaient bon nombre de personnes inculpées de « sorcellerie » ou de pensée hérétique. Descartes a courageusement contribué à lutter contre les dogmes imposés par l'Église et il a préparé le terrain au rationalisme. Quatre siècles plus tard, j'étais libre de penser ce que je voulais et d'utiliser les différentes avancées de la science et autres formes de connaissance pour façonner ma propre compréhension du monde. Cependant, si Descartes m'avait rendu visite dans ma maisonnette, j'aurais argumenté avec lui jusque tard dans la nuit pour le convaincre que le fait de considérer les animaux comme des machines dépourvues de sensation n'a aucun sens.

Au cours des siècles derniers, plusieurs penseurs occidentaux se sont montrés en désaccord avec Descartes sur ce point. Le philosophe anglais John Locke pensait que les animaux sont dotés de perception, de mémoire et de raison, mais qu'il leur manque la faculté d'abstraction (« Les brutes sont incapables d'abstraction », écrivit-il). Selon le philosophe écossais David Hume, les animaux peuvent raisonner et tirer des leçons de l'expérience, tout comme les humains. Et pour le philosophe allemand Arthur Schopenhauer, les animaux sont capables de compréhension et disposent d'un libre arbitre. Mais il aura fallu l'intervention du naturaliste anglais Charles Darwin pour miner la perspective selon laquelle les animaux sont des machines.

Des scientifiques avant Darwin avaient suggéré que les humains étaient connectés par l'hérédité à d'autres formes de vie. Mais au milieu du dix-neuvième siècle, Darwin a mis l'ensemble de ces éléments en lumière dans sa recherche sur les lois naturelles gouvernant les systèmes biologiques. Il avait navigué à travers le monde pendant cinq ans et établi un répertoire d'espèces vivantes aussi nombreuses que possible. Puis il

exposa la synthèse de ses réflexions dans son chef-d'œuvre de 1859, *L'Origine des espèces au moyen de la sélection naturelle*, où il déclare que les organismes vivants y compris les humains évoluent tous à partir d'une origine commune. Si les humains descendent des animaux, comment les animaux pourraient-ils être des machines ?

L'argument central de la théorie de Darwin est que les humains ont beaucoup en commun avec d'autres formes de vie. Pour mettre cette hypothèse à l'épreuve, Darwin avait placé des animaux en face de miroirs pour voir s'ils montraient des signes de reconnaissance de soi. Les singes soumis à l'expérience firent preuve de certaines formes de conscience de soi : ils contemplaient leur reflet avec surprise, changeaient d'angle pour se regarder, et prenaient des poses variées tout en s'observant eux-mêmes. Dans son livre *L'Expression des émotions chez l'homme et les animaux* (1872), Darwin décrit les animaux doués de conscience de soi et d'émotions. Et il pensait que même de simples créatures comme des vers de terre et des fourmis possèdent une forme d'intelligence. Il écrit : « Une petite quantité... de jugement et de raison, entre souvent en jeu, même chez des animaux placés très bas dans l'échelle de la nature. »

Dans son livre *La Descendance de l'homme* (1871), Darwin parle des facultés mentales des fourmis. « Il est certain que les fourmis se communiquent des informations entre elles, et qu'elles se mettent à plusieurs pour partager un travail, ou pour des séances de jeu. Elles reconnaissent leurs congénères après des mois d'absence, et éprouvent de la sympathie les unes pour les autres. Elles construisent de grands édifices, veillent à leur propreté, en ferment les portes le soir, et y postent des sentinelles. Elles font des routes et des tunnels par-dessous les rivières, et créent des ponts temporaires par-dessus, en s'accrochant les unes aux autres. Elles récoltent de la nourriture pour la communauté, et lorsqu'un objet, trop large pour entrer, est ramené jusqu'au nid, elles agrandissent la porte, qu'elles réajustent ensuite. Elles font des réserves de graines, qu'elles

empêchent de germer et qu'elles amènent à la surface pour les faire sécher en cas d'humidité. Elles utilisent des pucerons et d'autres insectes comme vache laitière. Elles livrent bataille en lignes de front bien ordonnées et sacrifient librement leur vie pour le bien de la communauté. Elles émigrent selon un projet conçu à l'avance. Elles capturent des esclaves. Elles déplacent les œufs de leurs pucerons, tout comme leurs propres œufs et cocons, dans des endroits plus chauds du nid, afin que ceux-ci éclosent plus rapidement, et l'on pourrait citer bien d'autres faits similaires. » En face d'une telle évidence, Darwin conclut que « les facultés mentales de l'homme et des animaux inférieurs ne diffèrent pas en qualité, même si elles diffèrent immensément en degré ».

La lecture de Darwin me grisait. Voilà un homme qui avait voyagé au bout du monde en quête de connaissance, et qui s'émerveillait en observant toutes espèces de créatures, quelle que soit la petitesse de leur taille. Ce faisant, Darwin surmontait de longs siècles de croyance religieuse et soutenait que les humains sont apparentés à la nature. Voilà un chamane parmi les scientifiques.

De longue date, cependant, la culture occidentale sépare les humains et la nature. Il aura fallu plus d'un siècle pour que les implications du travail de Darwin trouvent leur place dans l'esprit de scientifiques travaillant sur des animaux. En fait, le vingtième siècle aura été l'apogée du traitement des animaux comme s'ils étaient des machines, et l'expérimentation animale s'est faite à une échelle massive.

Pourquoi ?

Comme enfant du vingtième siècle et de la culture occidentale, je voulais comprendre l'origine de ces œillères concernant la nature. J'ai arpenté la maisonnette de long en large pendant des jours à réfléchir et à écouter de la musique dissonante. Des tempêtes de neige ont passé. J'étais heureux d'être bloqué par la neige.

Le vingtième siècle a marqué le triomphe de l'industrie méca-

nisée. Ce phénomène a influencé les scientifiques dans leur façon de considérer la nature. Mais la position des intellectuels a aussi joué son rôle. La Grande-Bretagne a connu un développement crucial après que le zoologue et psychologue anglais C. Lloyd Morgan eut formulé la règle suivante à l'usage des chercheurs étudiant le comportement animal : « En aucun cas, nous ne pouvons interpréter une action comme la conséquence d'un exercice ou d'une faculté psychique plus haute, si elle peut être interprétée comme l'aboutissement d'une faculté qui est située plus bas dans l'échelle psychologique. » Cet énoncé est connu sous le nom de canon de Morgan. Il se base sur le principe de parcimonie, ou rasoir d'Occam, selon lequel il faut préférer l'explication la plus simple lorsque plusieurs explications sont possibles. Pendant des décennies, des psychologues, biologistes, linguistes et philosophes se sont appuyés sur le canon de Morgan pour refuser d'admettre l'existence d'expériences mentales chez les animaux.

Mais quelques biologistes se sont cependant opposés à cette vue. Le biologiste anglais, Julian Huxley, par exemple, écrivait dans son *Essay on Bird Mind* (1923) : « Une école de pensée largement répandue aujourd'hui affirme que les animaux sont de "simples machines". Ils sont peut-être en effet des machines : c'est le qualificatif qui ne convient pas. Je suppose que le terme de "simples" machines implique qu'ils ont la qualité dépourvue d'âme, insensible, d'une machine, qui se met en marche quand on presse le bouton adéquat, s'arrête quand on en actionne un autre, n'agit qu'en réponse à des stimuli extérieurs, et se trouve en fait dénuée d'émotions – un ensemble d'opérations sans aucune qualité méritant le nom de soi. Il est vrai que plus on avance dans l'analyse du comportement animal, plus on découvre qu'il est composé d'une série d'automatismes..., et plus on est fondé à croire que les animaux ne possèdent aucune faculté qui mérite le nom de raison, d'idéal ou de pensée abstraite. Les animaux nous apparaissent de ce fait d'autant plus comme de simples mécanismes (un bien meilleur mot que celui de

machine, lequel véhicule des connotations bien définies de métal ou de bois, d'électricité ou de vapeur). Ce sont des mécanismes parce que leur mode opératoire est régulier ; mais ils diffèrent de tout autre type de mécanisme connu en ce sens que leur fonctionnement – pour le dire de la façon la plus neutre possible – s'accompagne d'émotions. »

Des scientifiques japonais ont été plus loin. Issus d'une culture qui place les humains et les animaux au même niveau, ils ne souscrivent généralement pas à cette vision mécaniste de la nature. Le Japon a un background culturel bouddhiste à influence chinoise dans lequel les humains, les animaux et les dieux existent sur un plan identique ; ils peuvent se transformer d'une espèce à une autre, et les humains n'y sont pas considérés comme les détenteurs exclusifs d'une âme. En 1950, une équipe de chercheurs japonais a entrepris des études pionnières sur la vie mentale des primates et rapporté des observations sur les motivations, les personnalités et le vécu de ces animaux. Des primatologues japonais avaient introduit une nouvelle méthode pour étudier des animaux dans leur milieu naturel. Cette méthode consistait à les observer d'aussi près que possible, silencieusement et sans interférer, à identifier individuellement les singes et à les suivre sur de longues périodes. Cette approche permettait de découvrir les relations qu'entretenait chaque singe individuel avec les autres. Les chercheurs ont découvert que la parenté est importante pour les singes. Ils ont également observé un singe macaque apprenant à plonger des patates douces dans une rivière pour les nettoyer ; puis ils ont relevé comment ce comportement appris se répandait dans toute la troupe. Ils ont donné au phénomène le nom de « pré-culture ». Ce sont aussi des scientifiques japonais qui, les premiers, ont rapporté que certains singes pratiquent l'infanticide, et que les chimpanzés utilisent des outils en pierre. Pendant plusieurs décennies, ces comptes rendus, qui décrivent des activités considérées auparavant comme exclusivement humaines, ont été ignorés des chercheurs occidentaux, ou

encore rejetés comme trop anthropomorphiques. Mais aujourd'hui, cette approche nipponne de l'étude des primates sur le terrain est devenue la norme dans le milieu scientifique. En traitant les primates comme des humains, les scientifiques japonais ont réussi à dépasser de plusieurs coudées leurs collègues occidentaux. En traitant les animaux avec intelligence, ils ont découvert de l'intelligence.

Pendant la majeure partie du vingtième siècle, la science occidentale a été dominée par l'opinion selon laquelle les animaux sont des mécaniques. Certains chercheurs ont été jusqu'à considérer les animaux comme de simples « machines stimulus-réponse » interchangeables. B.F. Skinner, l'un des fondateurs du béhaviorisme, a transcrit cette idée en ces termes : « Pigeon, rat, singe, en quoi se distinguent-ils l'un de l'autre ? Cela est sans importance. »

Un commentateur aussi ouvert dans le domaine de la biologie que Lewis Thomas écrivait en 1974 : « Il n'est pas possible de considérer qu'une fourmi solitaire, dans la nature, a quelque chose en tête ; en effet, avec seulement quelques neurones reliés entre eux par des fibres, la fourmi ne peut pas s'imaginer avoir un cerveau, encore moins une pensée. On pourrait plutôt la comparer à un ganglion monté sur pattes. »

Comment avons-nous pu en arriver là après Darwin, qui admirait les facultés mentales des fourmis ? J'ai retourné pendant des jours cette question dans ma tête. Il m'apparaissait que la plupart des biologistes occidentaux étaient pour ainsi dire tombés dans une transe mécaniste pendant plus d'un siècle, transe dont ils ne commençaient qu'à peine à émerger. Je ne comprenais pas complètement pourquoi les choses s'étaient passées de cette façon. Mais je me sentais soulagé de voir la science changer et révéler à nouveau la présence d'intelligence dans la nature. Et cette nouvelle vision venait confirmer certaines des plus anciennes croyances des peuples indigènes.

J'avais passé des années à travailler avec des indigènes

d'Amazonie pour la reconnaissance de leurs territoires et le développement de programmes d'éducation bilingues. Leurs modes de connaissance peuvent être difficiles à saisir pour des rationalistes. Mais j'avais été impressionné par leur pertinence. Maintenant, je voulais voir si l'on pouvait établir un pont entre science et savoir indigène, n'était-ce que pour les réconcilier en moi. Il y avait de bonnes chances pour que l'application conjointe de ces deux approches à la question de l'intelligence dans la nature conduise à de nouvelles idées sur la vie et à une compréhension plus riche de nous-mêmes et des autres espèces. Une telle connaissance pourrait se révéler précieuse dans le monde actuel.

À la fin de l'hiver, je percevais clairement un certain nombre de choses. Dans plusieurs pays, des chercheurs avaient choisi d'étudier l'intelligence dans la nature, et je désirais en savoir plus long sur leurs découvertes. Au cours des dernières décennies, la science a vécu de profondes transformations, et le monde scientifique s'est mis à remettre en cause des principes sacro-saints, tel le rasoir d'Occam. Certains chercheurs comprennent maintenant que rien ne vient prouver la simplicité de la nature, ou encore que des explications simples ont plus de chance d'être vraies que des théories plus complexes. Quelques-uns se déclarent même en faveur de l'anthropomorphisme. Le primatologue Frans de Waal, par exemple, qui écrivait en 2001 : « La proximité des animaux donne envie de les comprendre, pas seulement en partie, mais en *totalité*. Elle nous amène à nous demander ce qui se passe dans leurs têtes, tout en réalisant bien que la réponse ne peut être qu'approximative. Pour cela, nous utilisons tous les outils à disposition, y compris l'extrapolation à partir du comportement humain. L'anthropomorphisme est donc non seulement inévitable, il représente un outil puissant. »

Un jour, le soleil s'est remis à briller et la neige a commencé à fondre. Je suis allé courir et j'ai absorbé avec plaisir la chaleur des rayons. Comme je remontais la piste en bordure de forêt,

mes yeux se sont posés sur une scène étrange. Un long ver de terre rose rampait très lentement sur la neige, en provenance d'un bout de terre exposé au soleil. Je me suis arrêté pour l'observer un moment. Tout comme moi, il était sorti dans la première chaleur de l'année, et semblait se diriger quelque part.

CHAPITRE 5

Abeilles à même d'abstraire

À la mi-mai, j'ai pris le chemin du sud de la France. Après les collines suisses, et pour la première fois de l'année, j'avais enfin chaud. J'avais un rendez-vous à l'université de Toulouse avec Martin Giurfa, un chercheur qui avait récemment démontré que les abeilles sont capables de gérer des concepts abstraits.

Le travail de Giurfa et de ses collègues avait attiré mon attention, alors que je parcourais une revue scientifique. Ils rapportaient une expérience au cours de laquelle ils avaient soumis des abeilles au passage d'un labyrinthe élémentaire en forme de Y. Son entrée était marquée par un symbole particulier, en l'occurrence la couleur bleue. L'abeille qui volait à travers l'entrée parvenait à un carrefour, ou « chambre de décision », où elle pouvait choisir entre deux voies. L'un des embranchements était marqué par la couleur bleue, l'autre, par la couleur jaune. Les abeilles qui suivaient la piste bleue trouvaient en fin de parcours une fiole contenant une solution sucrée. Celles qui choisissaient la piste jaune ne recevaient aucune récompense. Les abeilles avaient rapidement appris que le sucre se trouvait au bout de la piste portant le même symbole que celui qui marquait l'entrée extérieure du labyrinthe. En d'autres termes « même » égale « sucre ». Dans une expérience ultérieure, l'entrée avait été marquée par un symbole différent, des lignes horizontales de couleur sombre, par exemple. Dans ce second cas, en atteignant la chambre de décision, les abeilles rencontraient à nouveau les

deux voies, qui, cette fois, ne se signalaient plus par des couleurs, mais par des lignes – lignes verticales pour l'une, horizontales pour l'autre. Les abeilles réussissaient de façon éclatante, en se dirigeant directement vers le motif semblable à celui qu'elles avaient vu à l'entrée. D'autres expériences avaient révélé que les abeilles pouvaient aussi transférer leur savoir d'un sens à un autre : les abeilles qui avaient appris à reconnaître la similarité de certaines odeurs étaient capables d'appliquer le concept à des signaux visuels. Bien qu'elles aient des cerveaux de la taille d'une tête d'épingle, les abeilles sont capables de maîtriser des règles abstraites.

Cette recherche contredisait l'idée que « les brutes sont incapables d'abstraction ». Elle montrait également que la petite taille d'un cerveau n'empêche pas la pensée. J'éprouvais l'envie de rencontrer la personne qui était à l'origine de cette étude et de l'entendre expliquer son point de vue.

Le campus de l'université de Toulouse est tentaculaire. Malgré les signaux et le nom des allées, il m'a fallu une bonne demi-heure avant de trouver le laboratoire d'Éthologie et de Cognition animale. Il était situé dans un bâtiment de quatre étages en cours de réfection. En entrant, on pouvait entendre le bruit des perceuses aux étages supérieurs.

Martin Giurfa avait récemment été choisi par le Centre national de recherche scientifique (CNRS) pour diriger un nouveau centre consacré à l'étude de la cognition animale. Nous ne nous étions jamais rencontrés ni parlé par téléphone : nous avions jusque-là communiqué par courrier électronique. En frappant à sa porte, j'envisageais la possibilité de voir apparaître un chercheur revêtu d'une blouse blanche de laboratoire et parlant d'un ton détaché.

En lieu et place, j'ai trouvé un homme jeune d'apparence assis devant un confortable bureau en face d'un ordinateur ; il avait une chemise à manches courtes, verte et à carreaux. La pièce était remplie de plantes, et les stores baissés pour protéger des rayons du soleil. Giurfa portait des lunettes à montures

d'acier et ses cheveux foncés étaient coupés court. Il sourit et m'invita à m'asseoir sur une chaise proche de son bureau. Il parlait l'anglais avec un accent indéterminé. Je lui demandai d'où il venait. Il me dit qu'il était né en Argentine, et que sa famille était originaire d'Italie.

En tant qu'hybride culturel, je me sentais à l'aise avec Giurfa. J'étais curieux de savoir d'où était né son intérêt pour la biologie. « Aussi loin que je me souviens, j'ai toujours aimé les animaux, répondit-il. J'ai toujours été fasciné par l'observation et la magie qui se dégage d'une machine vivante. Oh ! mais je viens de commettre une grosse erreur : j'ai utilisé le mot "machine" pour parler d'organismes vivants. C'est exactement aux antipodes de ce que je pense. En fait, ce ne sont *pas* des machines. En tout cas cela m'a toujours fasciné de contempler un organisme vivant du point de vue d'un observateur extérieur, comment il bouge, prend des décisions et ainsi de suite. Fascinante, la manière dont une guêpe décide de se diriger là plutôt qu'ailleurs, comment elle retrouve son chemin et identifie son essaim, comment elle vole de fleur en fleur, en passant toujours d'une fleur d'une certaine espèce à une autre de même espèce. » Enfant, Giurfa avait toujours eu pour compagnie des animaux « domestiques », dont des insectes, des serpents d'eau et un boa constrictor – au grand désespoir de sa mère.

Giurfa m'expliqua qu'il avait utilisé involontairement le mot « machines » en parlant des abeilles parce c'était son ancienne façon d'y penser. Cependant, en comprenant mieux comment ces insectes prennent des décisions et leur processus d'apprentissage, il avait dû admettre que ceux-ci n'agissaient pas mécaniquement. Son point de vue sur la question avait commencé à changer en 1990, alors qu'il travaillait à Berlin dans un institut de neurobiologie de pointe, en compagnie de soixante collègues venus de domaines scientifiques variés, qui tous étudiaient la mémoire et les modalités d'apprentissage des abeilles. Il lui apparut rapidement que les abeilles apprennent de manière

intelligente. Leur capacité de s'orienter, par exemple, est bien supérieure à la nôtre :

– Si je vous conduis à l'autre bout du campus, dit-il, et que je vous y dépose, vous ne trouverez pas si facilement votre chemin pour revenir ici. Les abeilles, elles, ont ce sens. Comment elles y parviennent, voilà la question. Et voilà aussi la raison pour laquelle j'ai commencé à réfléchir aux modalités de cognition des invertébrés, ce qui, à l'époque, était considéré comme une contradiction dans les termes. Les gens me disaient : « Tu es absolument fou de poser ce genre de question, comment as-tu pu penser que des invertébrés puissent avoir un comportement intelligent ? » Voilà ce que les gens me disaient.

– Qu'avez-vous pensé de cette résistance ?

– Je n'en ai tout simplement pas tenu compte. C'était l'avantage, à Berlin : nous avions la liberté intellectuelle de soulever n'importe quelle question et de poursuivre un travail de recherche à son sujet.

Je voulais savoir pourquoi certains de ses collègues étaient si opposés à l'étude de la cognition animale chez les invertébrés. « Essentiellement, répondit-il, parce que c'était l'opinion dominante, opinion que l'on rencontre aujourd'hui encore chez certaines personnes, par exemple parmi les chercheurs travaillant sur les vertébrés. Ils pensent encore que les invertébrés sont de petits robots, de simples machines, des machines à réflexes, vous voyez, comme les machines de Pavlov, ou les machines de Skinner. Comme quand on donne un coup de marteau sur votre genou, qui réagit alors par un mouvement réflexe. Pour eux, les invertébrés sont aussi simples que cela. »

Bien que Giurfa se montrât critique envers cette vision robotique des insectes, il admit qu'elle avait aidé à faire avancer l'étude des mouvements et des comportements chez les insectes. « Considérer les insectes comme de simples robots a permis, par exemple, de stimuler la création de machines, tel l'explorateur de Mars, dont la structure imitait la manière dont les insectes

bougent leurs pattes... Ce point de vue est bien sûr limité, si l'on veut, mais au moins, il avait cet aspect positif. »

Quelqu'un frappa à la porte, interrompant notre conversation. Giurfa eut un bref échange en français avec un collègue, et je remarquai qu'il parlait cette langue plus couramment que l'anglais. Après cet intermède, j'ai repris la conversation en français et nous l'avons poursuivie dans cette langue. Je lui ai demandé si ses travaux récents sur la capacité des abeilles à gérer des concepts abstraits avaient donné lieu à des critiques. Pour sa part, dit-il, il était certain que les expériences avaient été conduites impeccablement, et les résultats, publiés dans la revue *Nature*, ne pouvaient être attaqués scientifiquement. Il mentionna pourtant la résistance d'un groupe de chercheurs travaillant non loin de là dans un centre consacré à l'étude de la cognition chez les primates. Ils avaient contacté Giurfa pour l'informer qu'ils avaient testé des singes sur une tâche identique et découvert que certaines espèces ne pouvaient pas l'accomplir ; par conséquent, ils ne pouvaient pas croire que des abeilles en soient capables. Giurfa ajouta que ce genre de réaction se faisait de plus en plus rare.

Pour lui, le fait qu'un animal ne puisse pas accomplir une tâche donnée ne prouve pas sa stupidité.

– Dans la plupart des cas, le problème vient de l'expérimentateur ; il provient de l'incapacité du chercheur à développer des expériences qui posent la bonne question et permettent d'y répondre correctement. Si l'on veut, à l'analyse finale, un résultat négatif ne montre rien. Un résultat positif montre quelque chose. Mais quand un animal ne peut pas faire quelque chose, la question demeure : est-il incapable de le faire, ou est-ce moi qui n'ai pas été assez malin pour conceptualiser correctement ma recherche et y appliquer les expériences appropriées ?

– Alors, diriez-vous que le problème, pour l'instant, ce n'est pas que la nature manque d'intelligence, mais bien plutôt les chercheurs qui l'étudient ? lui ai-je demandé.

– Oui, c'est sûrement un des problèmes. Je pense que nous

sommes encore loin d'avoir fait la sorte de saut mental qui nous permette de poser certaines questions.

J'avais lu plusieurs livres récents qui n'admettaient pas l'existence d'une intelligence chez un insecte pris individuellement, et se référaient plutôt à une « intelligence d'essaim » (*swarm intelligence*). Cette idée laissait entendre que les abeilles étaient des robots dépourvus d'intelligence, programmés en fonction d'une série de règles simples, et que le comportement intelligent émergeait des interactions entre des parties elles-mêmes stupides. Le concept d'« émergence » était utilisé pour expliquer par exemple comment des individus « idiots » pouvaient sembler agir intelligemment. J'ai demandé à Giurfa ce qu'il pensait de l'« intelligence d'essaim » et de l'« émergence ».

Il répondit que ces concepts pouvaient expliquer certains comportements, mais pas tous, et qu'il était important de distinguer entre comportement de groupe et intelligence de l'individu. « Toutes ces études sur les propriétés d'émergence sont intéressantes, et un bon défi pour moi. J'apprécie ces études parce qu'elles me font repenser ma recherche à partir d'un autre point de vue. » Il est important, ajouta-t-il, de ne pas pousser son point de vue à l'extrême, en déclarant, par exemple, que les abeilles sont capables de formes d'apprentissage très élaborées et très souples. En fait, il arrive que des abeilles se comportent avec stupidité. Si elles sont mises dans un labyrinthe avec un couvercle en verre, par exemple, elles réussissent aussi bien que des rats jusqu'à la récompense sucrée, mais elles sont incapables de rebrousser chemin et de revenir là d'où elles sont venues. En effet, une abeille après avoir mangé est strictement programmée pour s'envoler vers le haut. En essayant de gagner de l'altitude, les abeilles enfermées dans un labyrinthe couvert se heurteront à mort contre le couvercle. Elles sont programmées d'après une règle simple : pour regagner la ruche, d'abord voler vers le haut, où l'intensité lumineuse est la plus grande, en direction du ciel. Les deux principes opèrent : il y a d'une part des règles simples et des

propriétés d'émergence, et d'autre part une forme de cognition plastique. « Voilà pourquoi cela représente pour moi un défi, parce que je suis obligé de repenser la problématique de mon système à partir d'un autre point de vue. »

Les scientifiques utilisent souvent le concept d'« instinct » pour expliquer les capacités des animaux. J'ai demandé à Giurfa s'il trouvait ce concept utile pour son travail. Il dit qu'à Berlin, il avait commencé ses travaux par une question relative à l'instinct des abeilles, en recherchant si les abeilles avaient ou non une information encodée dans leur cerveau quand elles prenaient leur premier vol exploratoire. Giurfa avait construit un grand rucher contenant un petit essaim d'abeilles, pour lequel toutes les conditions extérieures étaient contrôlées, ce qui lui avait permis par la suite de démontrer que les abeilles ont des préférences spontanées pour certaines couleurs, en particulier les bleus et les jaunes très intenses. Ces couleurs correspondent aux fleurs riches en nectar. Ainsi, pour Giurfa, l'instinct existe et représente un concept utile. Mais il avait également découvert que les abeilles peuvent modifier leur instinct en fonction de leur apprentissage dans leur rapport au monde. Dans l'environnement contrôlé qu'il avait construit, Giurfa s'était arrangé pour associer le pollen à d'autres couleurs, et avait découvert que les abeilles peuvent modifier leur instinct relatif à la couleur. « Nous voyons l'incroyable plasticité du système, dit-il. Cela signifie qu'elles se répandent dans la nature équipées d'une information instinctive, laquelle n'est pas rigide, et qu'elles peuvent l'oublier ou la mettre de côté sur la base d'une expérience individuelle, à savoir sur la base d'un apprentissage. »

Un grand fracas retentit à travers le plafond. Au-dessus de nous, des ouvriers démolissaient une paroi. L'université de Toulouse remodelait son Département de comportement animal, qu'elle transformait en « laboratoire de cognition animale ». Je pris cette mutation pour un signe des temps. La science s'ouvre à l'intelligence d'autres espèces, faisant littéralement tomber des murs universitaires.

Giurfa s'est tourné vers son ordinateur et a fait apparaître sur son écran une image très agrandie de l'organisation interne du cerveau d'une abeille. Il m'a expliqué qu'une partie essentielle de cette recherche consiste à explorer le cerveau des abeilles pour tenter d'y découvrir le « substrat neuronal » d'un comportement donné. Pour les scientifiques, le grand avantage, c'est que le cerveau d'une abeille peut accomplir des opérations mentales complexes avec moins d'un million de neurones. Ce qui simplifie la recherche. Grâce à des techniques d'imagerie cérébrale, Giurfa et ses collègues ont retracé quelles parties de son cerveau sont activées lorsque l'abeille entre en contact avec les odeurs du monde extérieur. Leur recherche a révélé l'existence d'un centre d'intégration des sens, le « corps en champignon », composé d'une masse compacte de 170 000 neurones. Cette composante centrale du cerveau reçoit les influx sensoriels et déclenche les comportements appropriés – par exemple, lorsque les abeilles font une danse symbolique pour communiquer la localisation de fleurs chargées de pollen, ou quand elles se dirigent sur de longues distances selon la position du soleil, ou encore évaluent la qualité de sites potentiels pour essaimer.

Giurfa expliqua que son équipe voit ce qui se passe à l'intérieur du cerveau de l'abeille en utilisant une technique appelée imagerie calcique. Comme les neurones actifs échangent du calcium, on peut ouvrir la capsule de la tête d'une abeille vivante et tremper son cerveau dans des produits fluorescents qui s'unissent au calcium en révélant de ce fait les parties actives du cerveau.

– Voilà un autre avantage des invertébrés, dit-il. Ce processus n'affecte pas l'animal. Les invertébrés sont enveloppés dans une capsule, leur corps entier est une capsule non innervée. Pour nous, c'est vraiment difficile à imaginer, mais pourtant, c'est ainsi. Imaginez qu'au lieu d'être protégé par une peau sensitive parce qu'innervée et pleine de terminaisons nerveuses, notre système interne soit contenu dans une armure.

– Alors, les nerfs s'arrêtent au cerveau ?

– Exactement. Si on ouvre la capsule, si on fait un petit trou dans la tête d'une abeille, c'est comme si on enlevait un casque. Vous ne la blessez pas parce que la tête n'est pas innervée. La partie extérieure de l'insecte, celle que l'on peut voir, est comme une coquille protectrice.

Je considérais la douleur comme un type d'expérience que les humains partagent probablement avec les animaux. J'ai souffert de plusieurs calculs biliaires, et je sais à quel point la douleur peut être paralysante et intolérable quand les nerfs à nu sont touchés à l'intérieur du corps. La douleur semble être une expérience indésirable découlant de l'existence d'un système nerveux central. Je ne connaissais rien de la douleur chez les insectes, mais je me figurais que si leurs cerveaux peuvent gérer l'abstraction, il est probable que ceux-ci peuvent également réagir à la douleur. J'ai demandé à Giurfa s'il pensait que les abeilles ressentent la douleur. « Si vous touchez un muscle, alors, oui, vous blessez l'animal, mais si vous ne faites qu'ôter un bout de sa capsule, vous ne le blessez pas. Donc, en maintenant l'abeille immobilisée dans un tube, il est possible de découvrir délicatement et d'exposer son cerveau, pour voir ce qui s'y passe. »

En les désignant sur la carte du cerveau de l'abeille, il me montra les « sentiers olfactifs ». Au bout d'une antenne d'abeille, il y a des récepteurs olfactifs (correspondant à la membrane muqueuse de l'intérieur du nez humain), qui transmettent une information électrochimique aux nerfs conduisant à deux petites structures en forme de grappe situées à la base du cerveau (semblable par la forme à notre propre bulbe olfactif). De là, des filaments de neurones conduisent au corps en champignon, qui traite les différents influx.

Giurfa et son collègue Randolph Menzel ont récemment décrit « l'architecture cognitive du minicerveau de l'abeille » comme un réseau d'unités indépendantes, « modules d'une intelligence d'insecte ». Chaque module traite l'information d'influx spécifiques, par exemple les odeurs. Les différents influx sont ensuite

combinés en un locus central, le corps en champignon, où des « décisions contextuelles » sont prises. Ce processus permet aux abeilles d'« extraire la structure logique du monde ».

Les abeilles viennent au monde équipées d'un cerveau minuscule et saisissent la nature de leur environnement presque instantanément. Leur durée de vie est de deux à trois semaines seulement. Elles semblent prêtes à apprendre dès éclosion de l'œuf.

Quelques-uns des étudiants doctorants de Giurfa conduisaient une expérience dans la pièce voisine. Il proposa que nous allions voir leur travail. Il sortit de son bureau et je lui emboîtai le pas. Trois étudiants étaient assis à une table blanche autour d'un curieux instrument – une plaque de métal bleue dotée d'une cartouche en cuivre qui dépassait à l'un des bouts. Une abeille était maintenue dans la cartouche. Un jeu de petits tubes était dirigé vers sa tête. L'étudiant qui dirigeait l'expérience tenait un cure-dent à la main. Il expliqua que lorsque l'antenne d'une abeille qui a faim est touchée par un cure-dent trempé dans une solution sucrée, l'abeille a toujours un mouvement réflexe qui consiste à sortir sa langue dans une réaction spontanée, comparable au réflexe du genou frappé avec un marteau. Giurfa m'expliqua que l'on pouvait aussi présenter une odeur juste avant la récompense sucrée, et que l'abeille apprenait à former une association qui, dans des tests ultérieurs, faisait que l'odeur, plutôt que le cure-dent sucré, provoquait le relâchement de la langue. Cette expérience montre que les abeilles peuvent apprendre à reconnaître une odeur et révèle quelles parties de leur cerveau sont actives lorsque cela se passe. L'expérience a permis de voir que les abeilles sont encore plus sensibles aux odeurs que les chiens.

Je regardais de très près l'abeille dans sa cartouche. Elle y était maintenue par une fine bandelette bleue. Seules ses antennes et sa langue pouvaient bouger. Sa tête était collée à l'arrière du tube.

J'ai bavardé un moment avec les étudiants. Ils venaient d'Allemagne, et m'ont dit, en anglais, qu'ils adoraient Toulouse, qui

est tout à la fois proche de la Méditerranée, des Pyrénées et de l'Atlantique. Mais ils ont ajouté qu'il leur était plus difficile de se concentrer sur leur travail scientifique ici qu'à Berlin, où « il faisait gris et pleuvait toute l'année ». Ici, ils avaient constamment envie de partir en vacances.

Je me penchai de nouveau sur l'abeille. Passer une heure attachée dans une cartouche, du point de vue d'une abeille, c'est long. Elle n'avait pas l'air confortable. Je m'enquis de son sort une fois l'expérience terminée. Giurfa expliqua que les abeilles testées de cette façon devaient être tuées, car autrement, elles retourneraient au rucher, ce qui pouvait falsifier les tests ultérieurs.

L'abeille que j'observais avait déjà fait l'expérience d'une odeur non récompensée, puis d'une seconde, récompensée. Elle allait maintenant recevoir l'odeur récompensée pour la seconde fois. L'odeur sortit du tube, et promptement, l'abeille tira sa langue. Elle avait établi la connexion.

À cet instant, j'éprouvai une jubilation, et me sentis une parenté avec l'abeille. Comme certains humains, elle apprenait vite. Je demandai à Giurfa s'il pensait que la découverte d'une intelligence chez les insectes signifiait aussi qu'ils méritent un meilleur traitement. Oui, dit-il, il adhérerait à la question, et il y avait certains types de recherche qu'il ne ferait jamais, comme, par exemple, l'insertion d'électrodes dans le cerveau des abeilles. Il n'avait jamais entendu parler d'activistes pour la protection des animaux s'opposant à la recherche chez les invertébrés, bien qu'à l'université de Berlin, il y eût une forte résistance à l'encontre des chercheurs étudiant la neurobiologie des vertébrés. « À l'époque, nous avons choisi les invertébrés précisément parce que nous ne voulions pas heurter la sensibilité de certains étudiants, dit-il. Si l'on veut étudier la biologie dans son ensemble, et voir tous les domaines qui y sont associés, il est alors indispensable d'utiliser des techniques et approches expérimentales. En tant que biologiste expérimental, je ne pourrais jamais accepter de tout étudier sur la base de simulations et de modèles. » Il ajouta qu'il ne

procéderait pas aux expériences qu'il faisait sur les abeilles sur des chats, des chiens ou des singes, en raison de sa « sensibilité personnelle particulière », qui, il le savait bien, ne représentait qu'« un point de vue anthropocentrique ».

Bien qu'il refusât de placer des électrodes dans le cerveau d'une abeille vivante, il admit que le fait de mettre à nu des cerveaux d'abeilles et de les soumettre à l'imagerie calcique était nuisible et conduisait à devoir ensuite les tuer. Je revins à la question de savoir si les abeilles ressentent la douleur. Il rit et avoua qu'il était difficile de répondre. Il me raconta que dans certains laboratoires d'Amérique du Sud, des chercheurs avaient découvert que le système nerveux des abeilles produisait des opioïdes, vraisemblablement à des fins analgésiques. Cependant, comme les abeilles et les humains sont séparés par des centaines de millions d'années d'évolution, il se demandait si le concept de « douleur » pouvait s'appliquer aux abeilles. Selon lui, personne ne connaissait la réponse.

Je l'ai interrogé ensuite sur les implications globales de son travail sur le système cognitif des abeilles. Il a répondu que ces études montraient que la taille du cerveau ne joue pas de rôle dans l'aptitude à accomplir des tâches cognitives difficiles. Et il a ajouté qu'il était temps de se débarrasser de la barrière arbitraire érigée entre des vertébrés capables d'apprentissage, tels les singes, les pigeons, les chiens, les chats, les dauphins et les hommes, et les autres « organismes non cognitifs ».

Nous avons passé une demi-heure avec les étudiants, puis nous les avons laissés à leur recherche minutieuse, et nous sommes allés déjeuner dans un restaurant du voisinage. Nous avons parlé de diverses choses. Il m'a posé des questions sur l'Amazonie péruvienne, où il avait lui-même voyagé. Je l'ai interrogé sur les influences intellectuelles qui l'avaient inspiré. Il m'a parlé de son directeur de thèse en Argentine, et de son amour pour les abeilles.

À un moment donné, je lui ai demandé son point de vue sur l'intelligence des plantes. Il a répondu que le problème, avec les

plantes, c'est qu'elles ne se déplacent pas, ce qui rend l'expérimentation scientifique malaisée. J'ai mentionné la plante parasite cuscute, qui vagabonde et évalue correctement le contenu nutritionnel d'autres plantes. Il a immédiatement suggéré des questions de recherche sur la cuscute. Peut-elle apprendre à éviter certains substrats à travers des renforcements négatifs ? Si cette plante fait preuve d'une capacité d'apprentissage, à quel niveau de sa structure cellulaire l'apprentissage se situe-t-il ? « Lorsqu'on parle d'apprentissage ou de cognition, le problème, c'est que, par définition, il faut pouvoir observer un changement de comportement résultant de l'expérience individuelle, dit-il. C'est la seule manière de montrer que l'apprentissage, ou la mémorisation, a eu lieu. Cela signifie que toutes les approches fondées sur la biologie moléculaire – la découverte de tel ou tel récepteur ou neurone – ne sont d'aucune utilité si l'on ne peut vérifier un changement de comportement. Lorsqu'un comportement donné change, alors on peut aller regarder dans la boîte et trouver les molécules. Mais si l'on cherche des molécules sans qu'il y ait changement de comportement, il est impossible d'en déduire quoi que ce soit. L'apprentissage ne devient manifeste qu'une fois que le comportement individuel change. Les changements au niveau cellulaire ne sont pas forcément significatifs. Ainsi, avec les plantes, il faut un changement de comportement que l'on puisse observer. Voilà le défi. Mais avec la plante que vous avez mentionnée, qui se déplace, il devrait être possible de découvrir quelque chose. »

Je lui ai demandé de m'en dire plus sur la manière dont d'autres chercheurs avaient commenté sa recherche. Il a dit que lorsqu'il voyageait et présentait son travail, celui-ci n'était guère remis en question. Au contraire, il encourageait d'autres scientifiques à s'interroger sur des points qu'ils n'avaient pas considérés auparavant. Il considérait cela comme un succès, même si son travail n'apporte aucune réponse aux questions essentielles qu'il se pose.

Je lui ai demandé s'il pouvait me donner le nom d'autres

scientifiques travaillant sur l'intelligence dans la nature. Il mentionna un biologiste autrichien qui étudiait la cognition chez les amibes. Il suggéra également plusieurs équipes de chercheurs japonais, l'une travaillant sur la perception visuelle de la couleur chez les insectes, une autre sur l'odorat chez les grillons, et une troisième, sur la neurologie des papillons. « Allez au Japon », me dit-il pour conclure.

J'ai quitté Giurfa au début de l'après-midi, devant son laboratoire. Nous nous sommes promis de rester en contact. Je me sentais joyeux, mais aussi un peu abasourdi. J'étais venu en pensant possiblement rencontrer un scientifique pur et dur. En lieu et place, j'avais trouvé quelqu'un qui m'encourageait à poursuivre mes investigations sur l'intelligence dans la nature. J'avais l'impression qu'il m'avait donné licence de m'aventurer plus profondément en territoire inconnu.

CHAPITRE 6

Prédateurs

Après mon retour sur les contreforts du Jura, j'ai consacré les mois qui ont suivi à lire et à poursuivre mes réflexions sur les plantes et les animaux. Martin Giurfa m'avait fait considérer la relation entre mouvement et intelligence. Il est vrai que, pour certains observateurs, les plantes sont dépourvues d'intelligence parce qu'ils ne les voient pas se déplacer. Mais cela est une illusion d'optique liée aux différentes échelles de temps dans lesquelles nous opérons. En fait, les plantes se déplacent bel et bien.

La plupart se meuvent lentement, mais certaines sont rapides, même d'un point de vue humain. Pour attraper des insectes attirés par son nectar, la dionée, ou mère de Vénus, peut refermer sur eux ses lobes feuillus en un tiers de seconde. La dionée est une plante prédatrice qui absorbe la chair en sécrétant des jus digestifs qui dissolvent sa proie. Ses réflexes sont stimulés par des signaux électriques semblables à ceux qui stimulent nos propres nerfs.

Contrairement à la dionée, la plupart des plantes ne se nourrissent pas de chair animale et trouvent plutôt leur subsistance dans la lumière du soleil et le sol. Les plantes sont elles-mêmes consommées en grande quantité, puisqu'elles représentent l'élément de base de toute chaîne alimentaire. En dépit de cela, elles parviennent à survivre sans problème, puisque la végétation

représente à elle seule les quatre-vingt-dix-neuf pour cent du volume des organismes vivants sur la terre.

Le mouvement est sans doute un critère d'intelligence chez les animaux, mais il ne s'applique pas aux plantes. Celles-ci absorbent la lumière solaire et les éléments nutritifs contenus dans le sol qui sont immédiatement disponibles, de sorte qu'elles n'ont pas besoin d'aller d'un endroit à un autre. Ceux d'entre nous qui n'ont pas cette capacité sont obligés de bouger pour trouver de la nourriture. Les animaux sont par définition des organismes qui se déplacent pour se nourrir. Les animaux, comme leur nom l'indique, sont des êtres animés. Ils se meuvent.

Au cours de l'évolution, les animaux dotés de systèmes nerveux efficaces ont marqué le pas sur leurs concurrents. Un système nerveux qui véhicule l'information jusqu'aux muscles en quelques millisecondes, plutôt qu'en secondes, aide à ne pas se faire manger. Nous utilisons nos cerveaux pour échapper aux prédateurs. Et, en tant que prédateurs, nous les utilisons pour attraper notre proie. Cette compétition neurologique entre animaux prédateurs et proies a certainement contribué au développement de cerveaux tels que le nôtre.

Mais les plantes ne sont pas restées inactives. Elles peuvent paraître immobiles, vouées essentiellement à absorber le soleil et à se faire manger. Ces organismes dépourvus de cerveau ont développé des milliers de substances chimiques pour tenter de parer à ce danger. Les plantes ont contribué à la course aux armements de l'évolution dans le domaine de la chimie. Contrairement aux animaux, elles n'ont jamais eu à développer leur vitesse de déplacement ou un système nerveux pour éviter la prédation.

Nous autres humains opérons dans une échelle de temps très rapide comparativement à la plupart des végétaux. En fait, le mot « légume » est une insulte quand il s'adresse aux humains. En anglais, il signifie « une personne incapable d'activité mentale ou physique, souvent en raison de lésions cérébrales, une

personne menant une vie morose et inactive » (selon le *Concise Oxford Dictionary*). Et en français, il veut dire « un malade dans un état *végétatif* chronique », calqué sur l'anglais *vegetable* (selon *Le Petit Robert*). Nous avons des préjugés animaux contre les légumes et ces préjugés ressortent dans notre vocabulaire.

Je voulais reprendre les choses de zéro et essayer de m'éloigner de mes propres préjugés. En tant qu'animal, je voulais comprendre les animaux. Pour commencer, j'ai appris que les animaux n'ont pas tous un cerveau. L'éponge, par exemple, n'a même pas de cellules nerveuses. Elle vit attachée au fond de la mer ou à d'autres objets. L'éponge naturelle que l'on achète dans un magasin est le squelette qui abrite l'animal éponge. À l'intérieur de ce squelette, le corps de l'éponge vivante est une sorte d'estomac perforé, tapissé de cellules en forme de fines lanières qui créent des courants, attirant à lui l'eau et des particules de nourriture. Ainsi, une éponge de dix centimètres peut filtrer jusqu'à une centaine de litres d'eau par jour. Attachée à un rocher au fond de l'océan, l'éponge se contente d'aspirer sa nourriture. Des zoologistes ont récemment découvert qu'un certain type d'éponges peut répondre à un danger potentiel en générant des impulsions électriques semblables à celles qui sillonnent les nerfs d'autres animaux, y compris des humains. Les signaux électriques se répandent dans le corps de l'éponge à travers un réseau de fines fibres cytoplasmiques non divisées en cellules. L'éponge utilise ces signaux pour clore son mécanisme d'absorption lorsque l'eau qui l'entoure transporte des particules qui risquent de boucher ses spores. Ces signaux électriques font partie d'un système décisionnel qui permet à l'éponge d'évaluer et d'exploiter au mieux son environnement. Et bien que les éponges soient des animaux dépourvus de cerveaux et de nerfs, il semble bien qu'elles prennent généralement les décisions appropriées.

L'hydre d'eau douce est un autre animal sans cerveau, sans tête et sédentaire, qui vit dans l'eau. Elle ressemble à un mince tube translucide de moins de trois centimètres, et possède un système nerveux appelé réseau de cellules nerveuses, qui s'entrecroise dans son corps sans former de concentration particulière. L'hydre vit attachée à la végétation par la base de son corps tubulaire. Le fond du tube est fermé, et une ouverture à l'extrémité supérieure sert à la fois à engloutir la nourriture et à rejeter les résidus. Cette ouverture est entourée d'un anneau de tentacules rétractiles qui piquent et attrapent d'autres petits animaux invertébrés tels que des crustacés. Lorsque l'hydre détecte une proie, elle tend ses tentacules vers l'extérieur pour s'en saisir. On ignore comment elle parvient à exécuter cette action précise sans cerveau. Des études révèlent que le réseau de nerfs se concentre dans la zone autour de la bouche. Cela tendrait à suggérer que les plus anciennes têtes soient apparues il y a quelque 700 millions d'années dans des organismes comparables à celui de l'hydre, et qui représentent peut-être les ancêtres communs d'espèces s'étendant de l'escargot à l'humain. La tête primitive était simplement un réseau de cellules nerveuses situé autour de la bouche de l'organisme. Cette concentration de neurones proches de la bouche montre l'importance de l'alimentation active chez les animaux. Notre morphologie actuelle, dont la tête abrite un cerveau proche de notre bouche, témoigne de cet héritage commun.

Je me grattais la tête en pensant à la proximité de mon cerveau et de ma bouche. J'utilisais mon cerveau de prédateur pour penser à la longue lignée de prédateurs qui avait conduit jusqu'à moi. Je voyais une queue interminable d'ancêtres à bouche, remontant à des centaines de millions d'années, qui claquaient des dents en riant.

Je me suis penché sur l'origine du système nerveux central. Celui-ci s'était d'abord développé chez de petits invertébrés, tels les vers nématodes. À l'œil nu, les nématodes actuels, *Caenorhabditis elegans*, ressemblent à un simple grain. Leur corps est

composé de moins de mille cellules, dont trois cents environ sont des neurones qui constituent un cerveau en forme d'anneau entourant le tube digestif à proximité de la bouche. Le cerveau du nématode, l'un des plus élémentaires que l'on connaisse, ressemble à une auréole de saint. Dans les systèmes nerveux centralisés, les connexions entre neurones sont plus courtes et plus denses, ce qui permet des réactions plus rapides aux changements de l'environnement et des comportements bien plus complexes.

L'escargot petit-gris, *Helix aspersa*, a un système nerveux central qui n'est fait que de quelques milliers de neurones. Ce n'est pas beaucoup pour un corps de la taille d'une noix. Par conséquent, les signaux nerveux mettent un certain temps pour traverser le corps de l'escargot, et ses muscles ont parfois besoin de plusieurs secondes pour réagir à un stimulus extérieur. En fait, les escargots perçoivent le monde au ralenti. Mais cela ne veut pas dire pour autant que leurs décisions soient inappropriées. Les escargots comptent parmi les plus habiles prédateurs. Il en existe environ 65 000 espèces, vivant dans les océans et les eaux douces ou à terre, dans nombre de climats et d'environnements différents. Les escargots ne sont pas stupides, ils sont lents mais en même temps efficaces dans leur manière d'agir.

Parmi les invertébrés, les poulpes possèdent les cerveaux les plus grands, et les scientifiques ont relevé leur intelligence. Les poulpes peuvent traverser des labyrinthes, s'échapper de réservoirs fermés, entrer par effraction dans d'autres aquariums pour voler des homards, ouvrir des jarres pour attraper des crabes, se camoufler, et même piquer des colères jusqu'à en devenir littéralement rouges. Ils possèdent un cerveau d'une puissance d'un demi-milliard de neurones, ce qui représente environ deux cents fois moins que les nôtres, mais beaucoup plus que les escargots. Les poulpes sont maîtres dans l'art de trouver la nourriture dans des endroits cachés – une aptitude généralement associée aux vertébrés pourvus de grands cerveaux, tels les ours, les cochons

et les humains. Les poulpes se camouflent en se faisant une image de leur environnement et, en une fraction de seconde, modifient la forme et la couleur de leur corps, ainsi que les marques et la texture de leur peau. Les poulpes sont d'astucieux transformateurs.

L'ordre des vertébrés inclut les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Nous autres vertébrés disposons d'un squelette interne qui nous permet d'atteindre une taille plus grande que la plupart des autres créatures. Nous avons une colonne vertébrale, et un crâne qui abrite une partie de notre système nerveux central, offrant ainsi une bonne protection à nos yeux, nos oreilles, notre sens olfactif et notre cerveau. Tout cela facilite nos réactions à l'environnement. Mais le fait de ne pas avoir de colonne vertébrale ne prouve en rien la stupidité des invertébrés. Les poulpes n'ont peut-être pas de colonne vertébrale, mais ils peuvent traverser des labyrinthes avec autant d'habileté que les rats.

Intrigué par les capacités des invertébrés, je me suis rendu dans le département de zoologie d'une université suisse non loin de l'endroit où j'habite, et j'ai demandé si l'on pouvait me montrer un ver nématode. J'avais envie d'observer un *Caenorhabditis elegans* vivant à travers un microscope. À l'université, les gens n'avaient pas l'habitude de faire face à ce genre de requêtes. Après tout, en quoi un anthropologue avait-il besoin de voir un ver nématode ? Je leur ai expliqué que j'écrivais un livre sur l'intelligence dans la nature et désirais voir de mes propres yeux un invertébré doté d'un système nerveux élémentaire. Ma requête fut agréée, et l'on me pria de patienter.

Sur l'un des murs du corridor du département de zoologie, il y avait un diagramme représentant la totalité du corps d'un nématode. Chacune de ses 959 cellules faisait l'objet d'une carte détaillée. Le ver nématode est difficilement visible à l'œil nu, mais c'est un animal complet, avec peau, cerveau, bouche, tube

digestif, organe de reproduction, œufs, sperme, et anus. Les nématodes font partie des animaux les plus étudiés par les chercheurs. Il est aisé d'en conserver une grande quantité et ils se reproduisent très rapidement. En outre, leur peau est transparente, ce qui permet, via un microscope, de voir à l'intérieur de leur corps vivant le fonctionnement de leurs organes. La coquille de leurs œufs est elle aussi transparente, il est donc loisible d'observer le développement de leurs embryons.

Le cerveau des nématodes réagit aux goûts, aux odeurs, à la température et au toucher. Et leurs neurones s'envoient réciproquement une gamme de signaux chimiques, dont la sérotonine, un neurotransmetteur également présent dans le cerveau humain. Je dispose bien sûr de plusieurs centaines de millions de fois plus de neurones que le nématode, pourtant, mon organisme biologique partage avec le sien les mêmes éléments de base. Debout dans le corridor, contemplant le diagramme représentant le corps du ver, je me voyais moi-même comme une sorte d'organisme serpentín pourvu de membres. En tant que vertébré, je me distingue d'un ver en ce que je possède une colonne vertébrale et un cerveau encapsulé dans un crâne. Mais comme les nématodes – et la plupart des autres animaux – la plus grande partie de mes nerfs est située à proximité de ma bouche, et je possède un long tube digestif. Au centre de mon être, il y a un tube en forme de serpent qui s'étire de la bouche à l'anús.

Les nématodes mangent des bactéries qu'ils trouvent dans le sol. Tous les animaux se nourrissent d'autres organismes. Même les végétariens sont prédateurs : leurs proies sont des plantes. On ne peut pas manger une carotte sans la tuer. Qu'un régime végétarien soit plus éthique que celui d'un omnivore est une question d'opinion. En ce qui me concerne, je sais que je suis un prédateur.

Mettant fin à ma rêverie, une femme s'est approchée de moi en se présentant comme une généticienne travaillant sur les nématodes. Elle s'appelait Monique Zetka. Elle venait de la

République tchèque et avait étudié au Canada. Nous parlions en anglais. Elle acceptait d'interrompre son travail pour me montrer quelques nématodes.

Je l'ai suivie dans son bureau et lui ai posé des questions sur son travail. Elle m'a expliqué comment elle injectait de l'ADN dans les gonades des nématodes afin d'induire des mutations dans leurs œufs. Plusieurs nématodes étaient déposés sur une lamelle huileuse, et elle m'a invité à m'asseoir pour regarder dans le microscope.

Une fois le fonctionnement de l'instrument maîtrisé, j'ai focalisé mon regard sur un seul ver nématode. Il était vivant et bougeait. Il ressemblait à un serpent transparent, d'allure byzantine. Ses organes internes avaient la complexité d'un moteur de voiture de course, et il se mouvait comme une ballerine, terminant ses glissements latéraux par un léger soubresaut du bout du corps. Je comprenais plus clairement pourquoi le nom scientifique des nématodes inclut le terme latin qui veut dire élégant. J'ai admiré sa beauté pendant plusieurs minutes, étonné qu'une créature, dont le cerveau n'était constitué que de trois cents neurones, puisse se mouvoir avec autant de grâce.

Je trouvais l'expérience saisissante. En me tournant vers Monika Zetka, je l'ai remerciée chaleureusement. Comme les qualités du ver nématode ne sont pas un sujet qu'on aborde fréquemment, et que certaines personnes ont du mal à prendre au sérieux des créatures si minuscules, j'ai hésité un peu avant de lui demander si elle *aimait* les nématodes.

Elle a semblé embarrassée par la question et a dit simplement : « Ils sont vraiment mignons. » Les scientifiques considèrent parfois de leur devoir de garder la tête froide devant l'élégance et la beauté de la nature. Je la remerciai encore et la laissai poursuivre son travail.

J'ai essayé de partager mon nouvel enthousiasme pour les invertébrés avec des personnes de mon entourage, mais le plus souvent, ils en riaient. Les Occidentaux se situent généralement

bien au-dessus de « modestes » créatures tels les nématodes. Mais les humains font pourtant partie de la nature. Comme tant d'autres animaux, nous avons des yeux, un nez, des oreilles, une bouche, des dents, un tube digestif, une peau, des gonades, et ainsi de suite. Nous sommes affiliés même aux créatures les plus simples.

Les premiers animaux furent des invertébrés. Les animaux dotés d'une colonne vertébrale et d'un crâne ne sont apparus qu'il y a quelque 500 millions d'années. Les poissons tout d'abord, puis les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Nous autres humains, nous sommes des mammifères. Nous faisons partie de l'ordre des primates, lequel inclut également les ouistitis, les singes, les grands singes et les chimpanzés.

Les humains arborent différents traits distinctifs, dont le plus évident : nous sommes les seuls primates marchant à plein temps sur deux jambes. D'après l'archive fossile, certains des premiers primates bipèdes appartenaient à un genre aujourd'hui éteint, les *Australopithèques*. Ces précurseurs de l'humanité ont vécu il y a environ trois millions d'années et demi, et leurs cerveaux avaient le tiers de la taille du nôtre. Mis à part leur posture quasi humaine, ils ressemblaient beaucoup à des chimpanzés, suivaient un régime alimentaire identique et avaient des cerveaux de la même taille. Les premiers véritables hominidés, connus sous le nom de l'*Homo habilis*, sont apparus il y a quelque deux millions d'années. Ils se tenaient droit et leurs cerveaux avaient une taille de la moitié du nôtre. Depuis lors, le cerveau des hominidés n'a cessé de croître. L'archive fossile est inégale et difficile à interpréter. Les paléontologues ne s'entendent pas sur nombre de détails. À quelle époque le premier *Homo sapiens* est-il apparu ? Pour certains, les racines de notre espèce remontent à plus de quatre cent mille ans. D'autres pensent que nos ancêtres immédiats étaient une espèce africaine distincte, l'*Homo rhodesiensis*, et que l'on ne devrait donner le label d'*Homo sapiens* qu'à des

fossiles de moins de deux cent mille ans. Selon d'autres encore, il y a eu diverses variétés archaïques d'*Homo sapiens*, parmi lesquels l'*Homo rhodesiensis*, l'*Homo antecessor* et l'*Homo heidelbergensis*, dont descendent les humains modernes et les hommes de Neandertal. Enfin, pour certains paléontologues, l'homme de Neandertal serait une branche tout à fait distincte de l'*Homo rhodesiensis*.

Nos cousins trapus de Neandertal vivaient essentiellement en Europe, et leur cerveau avait un volume légèrement supérieur au nôtre. Comme nous, ils enterraient leurs morts, fabriquaient des instruments de musique et des outils de chasse performants. Les hommes de Neandertal étaient de grands prédateurs. L'analyse de leurs os fossilisés révèle qu'ils se nourrissaient essentiellement de viande. Néanmoins, ils différaient passablement de nous. Leur crâne était de forme ovoïde, plutôt que ronde. Leur front était creux plutôt que plat. Leur menton était aussi creux, alors que le nôtre est en pointe.

L'archive fossile suggère qu'au point de vue anatomique, les humains modernes, ou l'*Homo sapiens sapiens*, sont apparus en Afrique il y a quelque deux cent mille ans seulement. Ce qui représente environ dix mille générations biologiques, et indique que nous sommes une espèce très jeune. Le mot *sapiens* signifie « sage » en latin. Quant à savoir si ce label correspond vraiment aux humains que nous sommes, cela reste encore à déterminer.

Penser aux humains en termes d'espèce enrichissait ma réflexion. Il apparaissait clairement que notre grande force vient de notre aptitude à nous adapter à des environnements et à des circonstances très variés. Les descendants de la petite bande d'humains qui avait quitté l'Afrique s'étaient répandus à travers le monde et l'avaient peuplé. De l'Arctique aux déserts d'Australie et aux forêts pluviales d'Amazonie, ils avaient appris à exploiter les plantes et les animaux de chaque nouvel environnement dans lequel ils pénétraient. Il y a longtemps que les humains se livrent à la déprédation écologique. Les espèces

faciles à chasser tendaient à s'éteindre rapidement après l'arrivée des humains dans une région donnée. L'archive fossile montre clairement ce phénomène à Madagascar, en Nouvelle-Zélande et en Australie, par exemple. Comme les lions et les loups, les humains sont des prédateurs sociaux. Et nous sommes une espèce envahissante. Notre remarquable capacité d'adaptation a fait de nous les plus dangereux des prédateurs macroscopiques vivants.

Des archéologues ont comparé des sites de camps d'*Homo sapiens sapiens* à ceux d'hommes de Neandertal vivant à la même période dans la même région. Nos ancêtres fabriquaient des pièges sophistiqués et sculptaient des outils efficaces, pas seulement en bois et en pierre, mais aussi dans l'os et les ramures. Ils affinaient les os pour en faire des aiguilles qui leur permettaient de coudre les vêtements. Les hommes de Neandertal ne savaient probablement pas se fabriquer des habits chauds. Notre espèce a cohabité avec la leur pendant plus de cent cinquante mille ans, et, dans certains cas, a même fait du troc avec elle. Mais quatre glaciations majeures ont eu lieu au cours de cette période, et les hommes de Neandertal n'ont pas survécu. Pour la paléontologie contemporaine, leur mystérieuse disparition il y a vingt mille ans s'expliquerait par leur incapacité à s'adapter aux changements de l'environnement.

L'*Homo sapiens sapiens* a une trajectoire vertigineuse. Les artistes de Cro-Magnon qui ont peint les grottes de Lascaux, dans le sud de la France, vivaient il y a moins de mille générations. Ils étaient des humains comme nous – mais ils n'avaient ni électricité ni technologie de pointe. Maintenant, les humains ont développé la plomberie, les machines à laver, les vaisseaux spatiaux, les ordinateurs, et une certaine compréhension des fonctionnements complexes de la biologie.

Qui sommes-nous ? Nous disposons d'un crâne et d'une colonne vertébrale, tout comme les autres vertébrés. Tout indique que nous sommes des animaux. Et pourtant, nous faisons

beaucoup de choses que les animaux ne font pas : écrire des livres, discuter la signification des mots, transformer des arbres en papier, examiner des invertébrés sous un microscope, équiper des jaguars de colliers-radio et les suivre à la trace, piloter des avions, commander des sous-marins, voyager jusqu'à la Lune et revenir, fabriquer du vin à partir du raisin, fumer du tabac, manipuler des molécules d'ADN, construire des réacteurs nucléaires et étudier l'extinction d'autres espèces. Nous pouvons également nous distancer du monde et l'observer, comme un spectacle séparé de nous-mêmes que nous appelons « nature ».

Nous sommes enracinés dans la biologie, et nous pouvons aussi réfléchir à son propos. Mots et concepts sont notre spécialité. Nous sommes l'espèce symbolisante par excellence. Nos capacités linguistiques et de symbolisation nous permettent d'établir de nouvelles relations entre des concepts sans liens apparents. À travers le langage, nous pouvons échanger de l'information, établir des plans, mettre sur pied des projets et des stratégies. La maîtrise du langage et des symboles nous a conduits au sommet de la chaîne alimentaire. Les lions et les loups ont des crocs et des griffes ; nous avons des concepts ingénieux que nous pouvons mettre en pratique.

Le langage nous permet également de transmettre une large gamme de connaissances et d'expériences à nos enfants. Les technologies sophistiquées que nous avons développées au cours des dernières décennies sont le fruit de connaissances accumulées par nos ancêtres. Le langage nous a lancés sur une courbe exponentielle d'apprentissage.

Ces développements, ce sont nos cerveaux qui les ont rendus possibles. Nous avons de grands cerveaux. Relativement à la taille du corps, notre cerveau humain est trois fois plus gros que la norme chez un primate – et le cerveau des primates est déjà plus grand que celui des autres mammifères. La partie supérieure de notre cerveau, appelée cortex, a poussé comme un champignon au cours de l'évolution des hominidés. Dans

son livre *Mapping the Mind*, Rita Carter décrit le phénomène ainsi : « Il y a un million et demi d'années, le cerveau hominidé s'est agrandi dans une sorte d'explosion. La chose fut si soudaine que les os du crâne ont été repoussés vers l'extérieur, créant ainsi un front haut et plat et une tête en forme de dôme qui nous distinguent des autres primates. Les zones qui se sont le plus élargies sont celles qui ont à voir avec la capacité de penser, de planifier, d'organiser et de communiquer. Le développement du langage a certainement été un tremplin pour sauter de l'hominidé à l'humain. Il a donné à nos ancêtres bien des sujets de réflexion, et du tissu cérébral supplémentaire devenait nécessaire. Les lobes frontaux du cerveau se sont élargis de quelque quarante pour cent pour former des zones importantes d'une nouvelle matière grise : le néocortex. Cette poussée a été particulièrement intense à l'avant, dans la zone appelée lobes préfrontaux. Ces lobes ont sailli de l'avant du cerveau, et leur développement a poussé le front et le dôme frontal de la tête vers l'avant, en lui donnant la forme du crâne moderne. »

Nos cerveaux sont organisés en deux parties distinctes. D'abord, au sommet de la colonne vertébrale, à la base du crâne, il y a des cellules sensibles à l'odeur et à la lumière. Cela correspond au cerveau des poissons. Au-dessus, il y a un conglomerat de cellules appelé le cervelet, qui coordonne la motricité. Ensemble, ces deux couches forment le cerveau reptilien, lui-même surmonté d'autres zones, dont le thalamus (impliqué dans le traitement sensoriel primaire de la vision, du son et du toucher), l'amygdale (impliquée dans les émotions), l'hippocampe (impliqué dans l'apprentissage et la mémoire) et l'hypothalamus (impliqué dans la motivation et la régulation comportementale). Tout cet ensemble correspond au cerveau mammifère, lequel est lui aussi surmonté d'une couche additionnelle de cellules appelée le cortex. Certains mammifères ont un cortex plus important que d'autres. Chez les humains, le cortex s'enfle au-delà de toutes proportions.

L'architecture du cerveau humain est l'incarnation même de notre connexion héréditaire avec les autres vertébrés, selon l'ordre d'apparition dans l'évolution : d'abord les poissons, puis les reptiles, puis les mammifères. Mais le cerveau humain diffère du cerveau des autres animaux en ce qu'il est équipé d'un circuit neuronal spécialisé dans le traitement du langage. Pendant des décennies, les scientifiques ont cru que deux parties spécifiques placées sur le côté gauche du cortex humain – les zones dites respectivement de Broca et de Wernicke – fonctionnaient comme « centres du langage ». Mais des recherches récentes fondées sur l'imagerie cérébrale montrent que le langage est traité par différentes régions du cerveau travaillant en parallèle. Comme Susan Greenfield l'a écrit dans son livre *Brain Story* : « L'une des découvertes les plus étonnantes de cette recherche, c'est le fait que l'énoncé d'un simple mot engendre à lui seul un parcours unique d'ondulations actives à travers le cortex. L'expérience du mot « tournevis », par exemple, a pour effet d'activer une partie du cerveau appelé cortex moteur. Le cortex moteur étant impliqué dans le contrôle du mouvement, il est possible que ce mot déclenche en nous des souvenirs d'utilisation active d'un tournevis. Il est évident que le langage ne peut se circonscrire aux seules zones de Broca et de Wernicke – il déclenche une vague d'associations et de mémoires différentes pour chaque mot. »

Le cerveau des humains est remarquablement grand, comparé au reste de leur corps. Nos enfants viennent au monde avec une tête si lourde qu'il leur faut des mois simplement pour s'asseoir. Leurs têtes sont si grandes que notre espèce connaît de loin le plus haut taux de mortalité maternelle en cours d'accouchement. Et les petits d'humains nécessitent de longues années de nourrissement, d'éducation et d'affection pour que leurs cerveaux puissent atteindre leur plein potentiel. Les humains ont aussi, et de loin, les plus longues périodes d'enfance et d'adolescence, et les parents humains font preuve d'empathie à l'égard de leurs

enfants bien plus longtemps que les parents de n'importe quelle autre espèce.

Posséder un grand nombre de neurones relativement à la taille corporelle semble indiquer une intelligence plus développée – les poulpes et les humains en sont la preuve. Mais si l'intelligence se définit par la capacité d'évaluer le monde et de prendre des décisions appropriées, on peut douter que les humains soient aussi malins que certains veulent le croire. Notre tendance actuelle à épuiser les ressources du monde naturel sans porter beaucoup de considération à l'avenir montre que nous n'avons pas encore maîtrisé notre comportement de prédateur. Bien sûr, notre espèce est encore très jeune. Les pieuvres existent depuis plusieurs centaines de millions d'années, ce qui leur a donné le temps d'aiguiser leurs talents. Par comparaison, nous ne faisons que commencer.

CHAPITRE 7

Les plantes agissent comme un cerveau

J'avais commencé mon enquête sur l'intelligence dans la nature depuis dix-huit mois quand un ami m'a appelé pour attirer mon attention sur un article récent paru dans la revue *Nature*. L'article disait que la recherche sur l'intelligence chez les plantes était en train de « devenir un objet d'étude scientifique sérieux », et que les chercheurs commençaient « maintenant seulement à découvrir la remarquable complexité du comportement des plantes ». Ces propos étaient ceux d'Anthony Trewavas, professeur de biologie à l'université d'Édimbourg et membre de la *Royal Society*, la plus ancienne société scientifique de Grande-Bretagne. Si l'on en croyait Trewavas, les plantes avaient des intentions, prenaient des décisions et évaluaient certains aspects complexes de leur environnement.

J'ai pris connaissance de la recherche mentionnée par Trewavas et découvert, à ma surprise, qu'à la suite d'études récentes, des scientifiques affirmaient que les plantes ressentent et peuvent détecter une gamme de variables extérieures, telles que la lumière, l'eau, la température, les substances chimiques, les vibrations, la pesanteur et les sons. Elles peuvent aussi réagir à ces facteurs en modifiant leur mode de croissance. Les plantes rivalisent entre elles pour se nourrir. Lorsqu'elles sont attaquées par des herbivores, certaines plantes lancent un SOS en dégageant des substances chimiques qui attirent les prédateurs de

leurs assaillants. Les plantes sont à même de détecter les signaux de détresse de végétaux d'espèces différentes et de prendre des mesures préventives. Elles peuvent gérer des informations et réagir avec l'entièreté de leur organisme. Leurs cellules communiquent entre elles via des signaux moléculaires et électriques, dont certains ressemblent étonnamment à ceux qu'utilisent nos propres neurones. Quand une plante est endommagée, ses cellules s'envoient l'une à l'autre des signaux électriques similaires à ceux que notre corps utilise pour signaler la douleur.

Une bonne partie de ces connaissances était apparue dans les années 1990, grâce au développement de la génétique moléculaire, qui a permis de révéler les signaux et les récepteurs utilisés par les cellules végétales lorsqu'elles communiquent et apprennent. Anthony Trewavas avait contribué à lancer ce champ d'investigation avec sa recherche sur le calcium et les signaux moléculaires chez les plantes. Je l'ai contacté et lui ai demandé un entretien en lui expliquant mon but. Il a accepté, et nous avons convenu d'un rendez-vous.

Je suis arrivé à Édimbourg par une nuit de janvier froide et tempétueuse. J'ai marché le long des rues, arc-bouté contre le vent et la pluie. C'était mon premier voyage en Écosse. L'atmosphère était sombre, et je me demandais si j'étais venu au bon endroit pour en apprendre davantage sur l'intelligence des plantes. Je suis descendu dans un hôtel à la périphérie de la ville.

Le lendemain matin, la pluie avait cessé. Je me suis mis en route pour l'université, où je suis arrivé bien en avance sur l'heure du rendez-vous. En attendant, j'ai erré à travers les couloirs de l'Institut de biologie cellulaire et moléculaire, un bâtiment très ordinaire datant des années 1960, désormais d'aspect délabré. Les couloirs des départements scientifiques universitaires tendent à se ressembler d'un pays à l'autre, avec leurs murs ternes recouverts d'affiches annonçant des conférences ou expliquant certaines recherches.

J'ai trouvé Anthony Trewavas dans son bureau, au quatrième étage. Grand, le crâne dégarni, il avait des yeux bleu pâle et des sourcils grisonnants. Il m'a invité à m'asseoir en face de lui sur une chaise qu'il m'a désignée. Le sol de son bureau était recouvert de piles de revues dans le genre de *Science* et *Nature*. J'ai glissé un œil sur le dossier posé sur le sommet de la pile la plus proche et j'ai vu qu'il était intitulé « intelligence ».

Le temps que je mette en marche mon enregistreur, Trewavas était déjà en train de discuter de l'importance de l'intelligence des plantes, arguant que les scientifiques avaient longtemps considéré les plantes comme des créatures passives, parce que leur déplacement n'était pas évident. « Pour moi, cependant, cette hypothèse est fausse parce qu'elle pose l'équation "mouvement égale intelligence". Le mouvement n'est qu'une expression de l'intelligence. Il n'est pas l'intelligence en soi. Mais, bien sûr, il n'est pas facile de donner une bonne définition de l'intelligence... »

Ses paroles coulaient naturellement, et il n'avait pas besoin d'amorce pour poursuivre le fil de sa pensée. Il était, selon lui, nécessaire d'extirper les aspects humains accolés en général à la notion d'intelligence. De son point de vue, notre intelligence n'était pas apparue d'un seul coup lorsque nous étions devenus *Homo sapiens*. Elle avait évolué à partir d'autres organismes. D'où l'importance de définir l'intelligence d'une façon qui ne s'applique pas exclusivement aux humains. Et Trewavas fit référence à la formulation donnée en 1974 par le philosophe et psychologue néo-zélandais David Stenhouse, qui décrivait l'intelligence comme « un comportement adaptatif qui varie au cours de la vie d'un individu ». Cette définition peut s'appliquer à nombre d'organismes différents, et se réfère à un comportement non instinctif maximisant les aptitudes de l'individu.

Le bureau de Trewavas était placé le long d'une baie vitrée dominant Édimbourg. Trewavas était assis face à moi, le dos tourné à son bureau. En parlant, il me regardait droit dans les yeux. Son regard était perçant, mais le ton de sa voix exprimait

la générosité. Il me dit qu'il réfléchissait depuis des années au comportement des plantes à la lumière de la définition de Stenhouse. Bien que les plantes ne se déplacent généralement pas à une vitesse perceptible à l'œil nu, chacune répond individuellement aux signaux de son environnement et se développe de façon adaptative. Même les plantes d'intérieur, en pot, tournent leurs feuilles vers la lumière pour mieux la capter, enfoncent leurs racines dans le sol et envoient leurs pousses vers le haut. Quant aux plantes sauvages, elles peuvent rivaliser avec d'autres plantes pour obtenir la nourriture dont elles ont besoin. La recherche montre maintenant que les jeunes pousses sont sensibles aux plantes avoisinantes. Elles sont à même de détecter des changements de lumière infrarouge indiquant la présence de verdure à proximité, de prévoir les conséquences de cette présence et d'effectuer une manœuvre dilatoire. Les plantes peuvent modifier la forme et la direction de leurs tiges pour maintenir une position optimale par rapport à la lumière du soleil. Elles peuvent ajuster leur croissance et leur développement pour maximiser leur endurance dans un environnement variable. Pour Trewavas, si l'on se réfère à la définition de Stenhouse, cela signifie qu'elles sont intelligentes.

Pour illustrer son propos, Trewavas m'a ensuite décrit le comportement du palmier des Andes (*Socratea exorrhiza*), cet arbre tropical aux racines apparentes, qui se déplace vers la lumière en formant de nouvelles racines en direction d'un endroit plus ensoleillé et en laissant mourir celles qui sont à l'ombre. En effectuant cette manœuvre pendant plusieurs mois, le palmier des Andes se déplace réellement. Il « marche » de cette façon, à une vitesse imperceptible aux humains, en repoussant ses voisins rivaux pour trouver la lumière. Pour Trewavas, c'était un exemple clair de « comportement intentionnel ».

Le lierre terrestre est aussi une plante dont on peut mesurer l'aptitude à trouver sa nourriture. Cette plante parasite vivace rampe au sol et, lorsqu'elle atteint une parcelle de terre de taille

et de ressources nutritives optimales, elle y enfonce des racines et produit des feuilles afin d'absorber la lumière. Des chercheurs ont récemment étudié le lierre terrestre dans un environnement contrôlé où les substances nutritives n'étaient pas également distribuées. La plante a montré qu'elle localisait les ressources en commençant rapidement à pousser des racines dans les endroits riches en substances nutritives, et en traversant sans s'y enraciner le sol pauvre situé entre des parcelles plus fertiles. Trewavas trouve qu'il est « difficile de ne pas conclure à un choix intentionnel et intelligent » dans le cas du lierre terrestre.

– De tels exemples ne peuvent être rejetés sous prétexte qu'il s'agit de réponses automatiques préprogrammées, a-t-il ajouté. Ils sont plutôt preuve de *plasticité*.

Il expliqua qu'une plante individuelle dispose d'une très grande capacité de changer sa morphologie et la structure de ses embranchements afin de s'adapter à l'environnement dans lequel elle se trouve. La transformation s'opère très lentement d'un point de vue humain, en plusieurs mois, plutôt qu'en millièmes de secondes. « Mais la manière dont l'opération est conduite et son succès indiquent bien la présence de multiples critères d'évaluation à la base des décisions prises, autrement les plantes ne pourraient pas dominer la planète comme elles le font. »

Visiblement, Trewavas avait souvent argumenté en faveur de l'intelligence des plantes. J'étais d'accord avec lui que les cultures occidentales, et la culture scientifique en particulier, avaient largement sous-estimé le monde végétal. Mais je m'interrogeais tout de même sur l'étendue réelle des capacités des plantes. J'ai demandé à Trewavas si, selon lui, les plantes *pensent* lorsqu'elles prennent des décisions. Il a répondu que non. À son avis, elles *calculent* ce qui se passe, puis manifestent des réactions appropriées en termes de ce qu'elles perçoivent.

Ayant répondu à ma question, il a continué à présenter ses arguments en faveur de la plasticité des plantes. Celles-ci doivent trouver des ressources dans leur environnement local tout

en rivalisant avec leurs voisins. Comme leur emplacement est généralement fixe, la manière la plus censée d'y arriver est d'occuper au mieux l'espace qui les entoure. Il se trouve qu'une structure à embranchements est la solution la plus simple au problème, et c'est bien celle que les plantes adoptent, aussi bien sous le sol dans lequel elles enfonce des racines souterraines pour former des tissus exploiters, qu'à la surface où elles déploient leurs feuilles de façon à recueillir un maximum de lumière. Pour accomplir tout cela, une plante individuelle doit percevoir un vecteur de gravité et s'aligner correctement. Et sa forme et sa morphologie sont déterminées par la quantité et la qualité de lumière qu'elle perçoit. Pour Trewavas, cela est un bon exemple de « comportement adaptatif qui varie au cours de la vie d'un individu, c'est-à-dire, d'intelligence ». En outre, les plantons ne choisissent pas leur environnement, puisque les graines atterrissent et germent là où elles peuvent. Les plantes sont donc tenues de croître dans des environnements très divers, et d'ajuster leurs structures pour optimiser leur capacité d'exploiter ce qu'elles trouvent.

Pour ce qui est de l'intelligence et de la plasticité végétale, l'exemple favori de Trewavas est une plante parasite, la cuscute. Celle-ci se déplace en s'enroulant autour d'autres espèces et en évaluant sans se tromper leur qualité nutritionnelle. Une heure suffit à la cuscute pour décider s'il convient d'exploiter son hôte ou s'il faut chercher ailleurs. Si elle reste, il lui faut plusieurs jours avant de commencer à bénéficier des substances nutritives de son hôte. Mais la cuscute anticipe quelle sera la richesse de ce dernier en faisant pousser plus ou moins de spires. Un plus grand nombre de spires permet une meilleure exploitation ; mais si l'hôte est pauvre en éléments nutritifs, ces spires gaspillent une énergie précieuse, car les plantes de cuscute n'ont que peu de feuilles, et dépendent de leurs hôtes pour l'eau et la nourriture. Voilà pourquoi elles doivent prendre les décisions appropriées, ou mourir. La botaniste Colleen Kelly, au début des

années 1990, avait découvert que la cuscute évalue correctement quand manger et quand poursuivre son chemin, et que ses stratégies de recherche de nourriture sont aussi efficaces que celles des animaux. Et elle calcule le bon choix entre alternatives proches sans le bénéfice d'un cerveau.

Trewavas décrivait les plantes comme capables d'intention. Mais j'avais en tête la formulation de Jacques Monod : le fait d'attribuer un but ou un projet à la nature est contraire aux fondements de la méthode scientifique. Pour Monod, étudier la nature scientifiquement veut dire ignorer la possibilité d'intention. J'ai rappelé ce postulat à Trewavas, en ajoutant qu'il semblait l'avoir outrepassé.

Il a répondu d'un ton railleur :

– Eh bien, je ne sais pas combien de gens croient vraiment Jacques Monod sur ce point. D'abord, son idée ne s'appliquait pas vraiment aux humains. Pour moi, elle semblait dévitaliser la vie. Elle semblait indiquer que la vie est uniquement gouvernée par le hasard. Or les animaux peuvent prévoir. Tout comme nous d'ailleurs. Et pour moi, la plasticité ne peut être que prévoyance, car elle représente l'aptitude à s'ajuster aux conditions environnementales particulières que l'on rencontre. Sans cette capacité, l'accommodation aux circonstances ne pourrait être optimale. Pour la plante, la plasticité revient à prévoir les conditions possibles dans lesquelles elle va se trouver.

– Alors, comment la plante fait-elle pour décider ? lui ai-je demandé.

Trewavas a répondu qu'il avait réfléchi de nombreuses années à la question. En 1990, ses collègues et lui avaient fait une percée. Ils étaient en train d'étudier comment les plantes perçoivent les signaux et transmettent l'information de manière interne. À l'aide de manipulations génétiques, les chercheurs ont introduit dans des plants de tabac une protéine qui les faisait luire quand le niveau de calcium augmentait à l'intérieur des cellules. Ils avaient émis l'hypothèse que l'altération de concentration

cellulaire en calcium était l'un des moyens principaux par lequel les plantes percevaient les événements extérieurs. À leur grande surprise, ils avaient découvert que les plants de tabac réagissaient immédiatement au toucher. Bien que le tabac ne soit pas connu pour être sensible au toucher, une petite caresse suffisait pour provoquer chez les plantes modifiées une émission de lumière induite par l'augmentation de calcium dans leurs cellules. Trewavas était ébloui par la rapidité de la réaction : « Sa vitesse était telle qu'elle était à la limite de ce que nous pouvions mesurer. Alors que je vous ai dit que les plantes ne réagissent qu'en termes de mois et d'années, dans ce cas-ci, elles répondaient en quelques millièmes de secondes à un signal dont nous savions qu'il aurait plus tard un effet morphologique. Quand on touche une plante régulièrement, sa croissance ralentit et la plante devient plus épaisse. »

Trewavas savait que les neurones humains eux aussi produisent une augmentation interne de calcium lorsqu'ils transmettent de l'information. Après avoir vu la vitesse à laquelle les plantes réagissaient au toucher, il avait commencé à penser à leur intelligence. Bien que les plantes n'aient pas de neurones, s'était-il dit, leurs cellules utilisent un système de signalisation de même type, de sorte qu'elles ont peut-être la capacité de calculer et de prendre des décisions.

En l'écoutant, je réalisais qu'il avait vécu en direct les changements qui avaient bouleversé la biologie contemporaine au cours des dernières décennies. Il s'était ouvert à l'idée de l'intelligence dans la nature. Pour un scientifique occidental, cela représentait un pas audacieux. Je connaissais des indigènes d'Amazonie pour qui l'intelligence des plantes allait de soi. Mais dans la culture occidentale, les gens qui attribuent de l'intelligence aux plantes ont longtemps été ridiculisés. Jusqu'à maintenant, les scientifiques, et en particulier les botanistes, ont évité les mots « intelligence des plantes ». Je voulais en savoir plus. Comment sa manière de penser

avait-elle changé ? J'ai insisté pour qu'il me donne plus de détails.

En désignant d'un geste les piles de documents qui jalonnaient son bureau, il me répondit que pendant des dizaines d'années, il avait énormément lu sur des quantités de sujets. Il me révéla certains aspects de sa méthode de travail. « La famille se plaignait parce que je restais assis sur une chaise à réfléchir dans le vide. Je trouvais que c'était nécessaire. Les idées ne viennent pas seulement en lisant. Il faut s'éloigner des livres, s'étendre, s'asseoir, marcher, laisser les choses tourner dans sa tête. Et s'il y a une situation que j'apprécie entre toutes, c'est bien d'essayer de résoudre un problème dans ma tête. Y a-t-il des connexions nouvelles à établir ? Et je trouve que c'est seulement grâce aux longues périodes où l'on ne fait rien d'autre que penser, que tout à coup les faits commencent à se mettre en place. Et ils viennent regroupés dans une combinaison intéressante qui vous permet d'entrevoir des possibilités quant à ce que les plantes peuvent faire. » Il dit que la notion d'intelligence chez les plantes lui était venue de cette manière. L'intelligence en général était un sujet qui le captivait depuis de longues années. Ainsi, lorsqu'il avait vu la connexion entre les plantes et le calcium, cela l'avait inévitablement conduit à réfléchir à propos d'intelligence.

L'intuition de Trewavas sur le rôle du calcium dans l'apprentissage, aussi bien chez les animaux que les plantes, se trouva confirmée par des recherches ultérieures. Des scientifiques ont récemment découvert que lorsqu'un animal apprend à éviter un danger, des atomes de calcium et des molécules spécifiques, dont certaines enzymes, se répandent dans ses neurones. Cela modifie la structure moléculaire des canaux qui traversent les membranes externes des neurones et contrôlent l'import et l'export d'atomes et de molécules chargés. Si la menace persiste pour l'animal, ses neurones continuent à produire des protéines, lesquelles construisent de nouvelles connexions, ou synapses, entre les neurones. Avec ces changements de force dans les

connexions existantes, ces nouvelles synapses sont créatrices de mémoire, et permettent à l'animal de se souvenir du danger et de l'éviter.

Un processus analogue a lieu chez les plantes. Quand une plante est menacée par le manque d'eau, par exemple, exactement les mêmes atomes et molécules se répandent dans ses cellules. Ceci donne lieu à des réactions identiques, d'abord en modifiant les mêmes canaux d'import-export, puis en stimulant la production de protéines si le danger persiste. Si le processus se poursuit, la plante modifie ses cellules et leur comportement, de sorte que ses feuilles rapetissent, qu'elle ne fait plus de pousses et que ses racines s'allongent. Ces réactions minimisent les lésions et le stress ultérieurs chez la plante. Elles prennent également en ligne de compte des facteurs extérieurs tels que substances nutritives et température, ainsi que l'âge et l'histoire passée de la plante.

La science montre maintenant que les plantes, tout comme les animaux et les humains, peuvent faire l'apprentissage du monde qui les entoure, en utilisant des mécanismes cellulaires semblables aux nôtres. Les plantes apprennent, mémorisent et décident, cela, bien qu'elles soient dépourvues de cerveaux.

Nous avons conversé pendant une heure et demie. Trewavas m'a invité à l'accompagner à la cafétéria située au sommet de l'immeuble pour boire un café. Nous nous y sommes rendus à travers un labyrinthe de couloirs et d'escaliers, croisant sur notre passage des groupes d'étudiants qui entraient et sortaient des salles de conférences. La cafétéria était calme et lumineuse. Elle offrait une vue spectaculaire sur Édimbourg et ses collines avoisinantes par une claire journée d'hiver. Trewavas se montrait généreux de son temps et partageait volontiers ses connaissances. Il était certainement l'une des personnes les plus faciles à interviewer que j'aie jamais rencontrées. Au cours de notre

entretien, il y avait eu des moments où il m'avait été difficile de placer un mot.

Boire un café en sa compagnie semblait être propice à plus d'intimité. Je décidai de lui demander si son comportement à l'égard des autres espèces avait changé à la lumière de ses recherches scientifiques. Après tout, son travail montrait que nous avons plus en commun avec les plantes que nous ne le croyons en général. Il répondit que son comportement personnel n'avait pas tellement changé, car il avait toujours respecté les autres espèces, et toujours apprécié la compagnie des plantes et des animaux. Ce qui le conduisit à parler de la cruauté envers les animaux, un sujet très débattu en Grande-Bretagne. Son comportement avait changé sur un point : après mûre réflexion, il avait cessé d'aller à la pêche. Il en était venu à ressentir de la sympathie pour le poisson, parce qu'il s'était rendu compte que le poisson au bout de la ligne était mortellement effrayé. Maintenant, il considère la pêche comme relativement cruelle. De son point de vue, il est évident que les animaux ressentent la douleur.

– On tire un poisson hors de l'eau, et il se tortille en tous sens ; eh bien, la raison pour laquelle il se tortille, c'est qu'il cherche l'air. Et je suppose que je peux traiter la situation de façon anthropomorphique et en conclure que je ferais exactement la même chose si l'on m'immergeait pour essayer de capter de l'air dans mes poumons, et non de l'eau. Mais j'aime manger du poisson. Simplement, je préfère que quelqu'un d'autre l'attrape. Nous devons respecter le système dans lequel nous vivons, parce qu'il ne survivra pas si nous ne le respectons pas. C'est aussi simple que cela, et pour moi, c'est une évidence. D'autre part, il ne faut pas non plus exagérer. Nous sommes les organismes importants. Nous sommes ceux qui discutons de l'environnement et des autres animaux, et non l'inverse.

– À notre connaissance ! me suis-je exclamé – voulant dire par là que nous ne pouvions être certains que les autres espèces ne discutaient pas entre elles à notre sujet. Mais cela n'a guère

interrompu le train de ses pensées. Il a dit que nous devons apprendre à vivre avec les autres espèces, et a fait référence au travail d'un membre de la *Royal Society* qui avait procédé à une analyse hormonale de chevreuils ayant été poursuivis par des chasseurs ; le résultat montrait clairement que ces animaux étaient en proie à une frayeur extrême. Trewavas considère maintenant que la chasse aux animaux pour le plaisir est un manque de respect pour la vie. « Il est simplement faux, a-t-il ajouté, que les renards apprécient une bonne chasse à courre avant d'être mis en pièces. » Là-dessus, je n'ai rien trouvé à redire.

Nous sommes revenus à son bureau pour clore l'entretien. Je lui ai posé des questions sur l'avenir de la recherche sur l'intelligence des plantes. Ce qu'il restait à faire, a-t-il dit, c'était de déterminer comment la plante dans son ensemble évalue les circonstances, prend une décision, et modifie son comportement en réaction à l'environnement qu'elle perçoit. « Cela demande beaucoup de communication entre les diverses parties de la plante. Ce domaine est devenu extrêmement complexe, remarquablement compliqué. Et je constate que nous l'avons énormément sous-estimé dans le passé. Il va falloir que les chercheurs continuent à travailler là-dessus, et essaient de concevoir que ce qu'ils étudient est, de fait, un organisme qui fait preuve d'un comportement intelligent, mais pas à la façon dont ils perçoivent en général l'intelligence. »

Ce qui n'était pas encore clair pour moi, c'était comment et où une plante calculait. Trewavas avait écrit qu'à son point de vue, « il est vraisemblable que la communication chez les plantes soit aussi complexe qu'à l'intérieur d'un cerveau ». Je lui ai dit que lorsque j'avais lu cette phrase, je m'étais représenté l'ensemble de la plante comme une espèce de cerveau.

– Oui, c'est intéressant, a-t-il répliqué.

Puis il s'est mis à comparer les signaux chimiques utilisés par les neurones à ceux utilisés par les cellules des plantes. Certains

sont identiques, mais d'autres diffèrent. Les signaux cérébraux consistent généralement en petites molécules, tandis que les signaux végétaux tendent à être grands et compliqués, comme les protéines et transcriptions d'ARN. Cela n'était apparu clairement qu'au cours des derniers cinq ans, ajouta-t-il. Avant cela, « personne n'aurait jamais cru que des protéines se déplaçaient à travers la plante en transmettant de l'information ». Et les grandes molécules peuvent traiter des quantités importantes d'information, ce qui signifie qu'il y a place pour une énorme complexité de communication chez les plantes. « Mais vous touchez juste, quand vous posez des questions sur la capacité de calculer : où dans la plante est-elle localisée ? Je l'ignore. Et la réponse est très certainement : elle existe dans la totalité de l'organisme. »

Les plantes n'ont pas de cerveau, mais agissent plutôt comme un cerveau.

Plus tard, ce jour-là, j'ai déambulé sans but précis à travers les rues d'Édimbourg. Les nuages s'étaient dissipés, et un soleil d'hiver flottait bas à l'horizon. La ville et les rochers volcaniques qui l'entouraient baignaient dans une lumière pâle. Je repassais en esprit la conversation du matin avec Anthony Trewavas. Nous autres humains, nous avons des échelles de temps différentes de celles des plantes. En conséquence, nous ne voyons pas les plantes se déplacer, et de ce fait, supposons qu'elles sont stupides. Mais cette supposition est incorrecte et provient de notre nature animale. Nous ne les voyons pas se déplacer, parce que nous fonctionnons en secondes, plutôt qu'en semaines et en mois.

Je me suis arrêté au beau milieu du trottoir de la rue pavée qui menait au château d'Édimbourg, et suis resté immobile. Je respirais tout en observant les gens qui passaient. J'essayais de basculer dans l'échelle du temps végétal, mais mes pensées continuaient à courir à une vitesse animale. Une image m'est venue à l'esprit : celle de Trewavas assis dans un fauteuil, sans bouger, en train de penser aux plantes. Il agissait comme une

plante afin de comprendre les plantes, et leur attribuait de l'intelligence. Comme un chamane, il s'identifiait à la nature au nom du savoir. Ses yeux brillaient.

CHAPITRE 8

Astuces d'amibes

Le constat que les plantes peuvent prendre des décisions m'a conduit à rechercher d'autres cas de comportement intelligent chez des créatures dépourvues de cerveau. Je me concentrais donc sur des espèces simples à la recherche des conditions de base de l'intelligence.

Les amibes ont capté mon attention. Leur nom vient du grec *amoibe*, qui signifie changement. Ces créatures unicellulaires microscopiques sont essentiellement constituées d'une goutte de protoplasme enveloppée d'une membrane poreuse flexible. Les amibes se déplacent en se transformant. Elles modifient la forme de leur corps en faisant basculer leur contenu gélatineux et en étirant leur membrane pour former des extensions appelées pseudopodes ou « faux pieds ». Les amibes sont des transformateurs.

Certaines amibes ont la capacité de se fondre les unes aux autres pour former une seule cellule géante, avec des milliers ou millions de noyaux. Connus sous le nom de myxomycètes (du latin *muxa*, morve), ces unicellulaires étonnants peuvent atteindre la taille d'une main humaine, et si l'on en découpe un en morceaux, les fragments se recollent d'eux-mêmes. En amibes géantes, les myxomycètes se déplacent très lentement en rampant, et avalent la nourriture qu'ils trouvent au passage. Il en existe à peu près un millier d'espèces que l'on retrouve sur toute la planète, spécialement dans les forêts tempérées. Dans

leur état visible, aggloméré, ils ressemblent à une petite flaque de mucus. Leur couleur peut être blanche, rouge, orangé ou jaune. Les myxomycètes changent de forme en rampant sur du bois, des feuilles ou un sol humides, ingérant au passage bactéries, mousses et champignons. Leur corps est entièrement recouvert d'une couche visqueuse, sorte de bave qu'ils sécrètent continuellement et laissent en traînée derrière eux. Bien qu'ils ne soient constitués que d'une seule grande cellule, et par conséquent ne possèdent ni système nerveux ni yeux, ils peuvent se déplacer, naviguer et éviter les obstacles. En outre, ils sentent la nourriture à distance et se dirigent infailliblement vers elle.

Les myxomycètes défient toute catégorie. Ils se déplacent pour se nourrir, comme des animaux. Mais ils se reproduisent par sporulation, tels des champignons. Une fois les spores dispersées dans de nouveaux habitats, ceux-ci « germent » sous forme d'amibes microscopiques. Le cycle de vie est bouclé quand ces amibes minuscules se fondent à nouveau en une seule cellule géante. Les myxomycètes passent leur existence entre deux royaumes, celui des champignons et celui des animaux, et entre deux échelles, microscopique et macroscopique.

Des scientifiques ont récemment découvert que le myxomycète *Physarum polycephalum* est capable de trouver infailliblement la solution d'un labyrinthe. Les chercheurs ont constaté que lorsque des morceaux coupés de l'organisme gélatineux sont déposés en plusieurs endroits d'un labyrinthe, ils s'étirent pour former une seule cellule qui remplit tout l'espace disponible. Mais lorsqu'on place de la nourriture à l'entrée et à la sortie du labyrinthe, l'organisme unicellulaire se retire des impasses du labyrinthe et contracte son corps en un seul tube qui s'étend par la voie la plus directe entre les deux sources de nourriture. « Ce processus remarquable de calcul cellulaire implique que la matière cellulaire peut faire preuve d'une intelligence primitive », en ont conclu les chercheurs. Le biologiste japonais qui a initié l'expérience, Toshiyuki Nakagaki, a déclaré : « Je suis bien

obligé de reconnaître l'ingéniosité et l'astuce extrêmes de cet organisme. » D'ordinaire, on assimile l'intelligence à la présence d'un cerveau. Et les cerveaux sont constitués de cellules. Mais dans ce cas, une seule cellule se conduit comme si elle avait un cerveau.

Le fait qu'une seule cellule de mucus jaunâtre réussisse à trouver la solution d'un labyrinthe ne confirme-t-il pas que l'édifice de la vie dans sa totalité est porteur d'intelligence ? J'ai lu d'autres articles de Toshiyuki Nakagaki. L'un était intitulé « Les organismes amiboïdes sont peut-être plus astucieux que nous ne pensions. » Dans un autre, il concluait : « Je ferais mieux de changer mon opinion stupide selon laquelle un organisme unicellulaire est stupide. » Ce que je lisais me plaisait tellement que j'ai pris contact avec Nakagaki pour lui demander un entretien. Sa réponse étant positive, j'ai commencé à planifier un voyage au Japon, un pays que je n'avais jamais visité, et dont seuls quelques habitants parlent une langue européenne. J'ai invité ma compagne Beatrice à se joindre à moi : elle a beaucoup voyagé en Asie ; de son métier, elle est orthophoniste.

Vers la fin de juillet, nous nous sommes embarqués de Suisse pour un vol direct d'une nuit jusqu'à Tokyo, puis nous avons transité vers le nord à bord d'un autre avion jusqu'à Sapporo, où Nakagaki travaille comme maître de conférences à l'université d'Hokkaido. Nous sommes arrivés au beau milieu de l'après-midi, heure locale, nous avons déposé nos bagages à l'hôtel et bu un café, puis fait un tour en ville. Le temps était ensoleillé et l'air vif. Sapporo est une cité moderne, avec des avenues plantées d'arbres, et il est facile de ne pas s'égarer. Elle me rappelait Vancouver. Nous avons finalement abouti dans un restaurant italien de style japonais appelé « Afrique », et bu trop de vin.

Le matin suivant, nous sommes restés endormis, et avons tout juste réussi à être prêts à temps pour notre rendez-vous dans le hall de l'hôtel. Heureusement, Nakagaki était en retard. Dehors, il pleuvait. Il est apparu en sueur, un parapluie à la main. Il

portait des lunettes à montures d'acier qui convenaient à sa figure ovale. Ses cheveux noirs et courts grisonnaient légèrement sur les tempes. Il semblait être au début de la quarantaine. Il était habillé de façon à la fois élégante et décontractée : chemise à carreaux, pantalon vert, socques en bois et chaussettes. Habits occidentaux, chaussures japonaises.

Nous avons traversé le campus à sa suite, sous des parapluies. Il y avait de grands arbres et les bâtiments étaient séparés les uns des autres par de larges pelouses. Nakagaki nous expliqua que l'université d'Hokkaido avait été fondée au dix-neuvième siècle par un Américain. À un moment donné, il s'est tourné vers moi et a déclaré : « En fait, vous n'êtes pas un scientifique. » Son franc-parler m'a surpris. Personne ne m'avait encore jamais dit cela ; en général, les gens présument souvent le contraire. Mais j'étais bien de son avis.

Nous sommes parvenus à l'Institut de recherche en science électronique, où Nakagaki dispose d'un bureau et d'un laboratoire. En entrant dans le bâtiment, il nous a demandé d'ôter nos chaussures et d'enfiler des mules, selon la coutume japonaise. En grimpant l'escalier jusqu'au troisième étage, il a désigné les murs d'un geste et dit : « C'est un bâtiment bon marché. »

La pièce où Nakagaki travaillait avait une apparence austère. Elle contenait un bureau, trois modestes chaises, de simples rayonnages blancs pleins de livres et un tableau noir. Sur son bureau, il y avait un grand ordinateur dont l'écran laissait voir un courriel en caractères japonais. Cela a attiré mon attention, car j'avais remarqué que les touches du clavier étaient en caractères européens. Je lui ai demandé comment il faisait pour écrire en japonais sur cet ordinateur. Il a expliqué que les Japonais utilisent trois différents types de caractères, dont des idéogrammes d'origine chinoise, un alphabet syllabique pour pallier les différences entre les grammaires chinoise et japonaise, et un autre alphabet syllabique pour représenter les mots importés des langues européens. Il est allé au tableau et a commencé à écrire

ces différents signes. Puis il est revenu à son ordinateur et nous a montré comment on pouvait faire passer le clavier d'un mode à l'autre pour composer les trois types de caractères japonais. Je me sentais soulagé que Nakagaki parle anglais.

Il m'a demandé de lui expliquer pourquoi son travail m'intéressait. Je lui ai dit que mes études sur les connaissances des indigènes d'Amazonie m'avaient conduit à enquêter sur l'intelligence dans la nature. Il m'a écouté, puis a fait des remarques sur la difficulté des Occidentaux à appliquer le concept d'« intelligence » à la nature. Selon lui, le problème était probablement lié à l'influence du christianisme. Mon enregistreur n'était pas encore branché. Je lui ai demandé de s'interrompre un moment pendant que je l'enclenchais. Puis il a repris le fil de son discours et décrit les conditions dans lesquelles lui et deux collègues – un Japonais et un Hongrois – avaient publié un papier sur leurs expériences prouvant que les myxomycètes pouvaient résoudre un labyrinthe. Dans leur conclusion, Nakagaki et son collègue japonais n'avaient pas hésité à utiliser le terme « intelligence ». Mais le coauteur hongrois avait suggéré de le supprimer. Les deux Japonais l'avaient emporté et la revue *Nature* avait bel et bien publié l'article avec le mot « intelligence ». Il s'en était suivi un intérêt médiatique considérable, aussi bien au Japon qu'à l'étranger. Nakagaki ajouta : « Au cours de mes entretiens de presse sur le sujet, je me suis retrouvé à discuter avec des journalistes étrangers de ce en quoi consiste l'intelligence, en fait. Tandis que les journalistes japonais s'intéressaient surtout aux détails de la manière dont un tel organisme était capable de résoudre un labyrinthe, ceux qui venaient de l'étranger se fixaient en général plutôt sur la question de savoir si ce phénomène représentait bien une forme d'intelligence ou non. »

Il attribuait cette différence à la religion. « J'ai eu le sentiment que certains Occidentaux, probablement à cause de l'influence du christianisme, peuvent se sentir légèrement mal à l'aise lorsqu'ils sont confrontés à la possibilité d'une intelligence autre qu'humaine. » Au Japon, ajouta-t-il, les gens n'hésitent pas à

parler de l'intelligence de la nature, voire même des objets. « Dans la culture japonaise, notre religion traditionnelle, le shinto, est une forme d'animisme. Aussi, nous n'avons aucun mal à accepter que chaque chose possède un esprit, ou quelque chose du genre. Pour moi, c'est parfaitement naturel », dit-il en riant.

Il se leva de son fauteuil pivotant et alla au tableau où il écrivit le mot japonais signifiant intelligence : *chi-sei*, composé de *chi*, qui veut dire savoir, reconnaître, et *sei*, qui signifie propriété, ou caractère, ou trait particulier. En quelque sorte, la capacité de savoir ou de reconnaître. Il prononçait « tchi-seï ».

« *Chi-sei* est le terme utilisé pour traduire le mot anglais "intelligence". Mais je sens qu'il y a une certaine différence entre le sens original de ces deux termes. » Il écrivit le mot *intelligence* au tableau : « Je sens que derrière ce mot, il y a la culture chrétienne occidentale, pour laquelle l'intelligence est un don de Dieu accordé aux humains exclusivement. » Il a ri, puis est revenu à son bureau et en a sorti un article intitulé *Smart Behavior of True Slime Mold in a Labyrinth* (Le comportement astucieux des myxomycètes dans un labyrinthe). Il me l'a passé, en disant qu'il contenait son avis sur la définition de l'intelligence.

J'avais lu cet article de Nakagaki dans lequel il s'interroge sur le sens des agissements du myxomycète dans le labyrinthe. En ajustant la forme de son corps pour occuper le chemin le plus court entre deux sources de nourriture, il optimise son ingestion d'éléments nutritifs et ses chances de survie. « Si le mécanisme de survie fonctionne bien, même dans des circonstances compliquées et difficiles, alors le comportement semble bien être astucieux (*smart*), écrit Nakagaki. Tous les systèmes biologiques doivent comporter une certaine part d'astuce (*smartness*). On ignore encore à quel point les micro-organismes sont astucieux. En fait, l'astuce du *Physarum* va sans doute au-delà de la simple traversée d'un labyrinthe, car dans la nature, la vie est plus complexe et difficile que cela. »

Quand j'avais lu cet article pour la première fois, je m'étais demandé quelle différence Nakagaki faisait entre *intelligence* et *smartness*. Je lui ai alors posé la question. « Quand j'utilise le mot *smart*, les Occidentaux sont d'accord, a-t-il répondu en riant. Ces derniers temps, je me suis contenté du mot *smartness*. »

Je lui ai demandé si *smartness* correspondait au terme japonais *chi-sei*¹. « Un instant, s'il vous plaît », et il est retourné au tableau. Il semblait à l'aise, debout devant le tableau, à écrire des mots et à établir des connexions entre eux. Il a expliqué qu'au Japon, les gens appellent *substances intelligentes* les matériaux chimiques qui assument certaines fonctions. Mais en anglais, le terme équivalent à « intelligent », c'est *smart*. « Je ne connaissais pas cette correspondance, reprit-il, je pensais que les Occidentaux utilisaient l'expression *substances intelligentes*. » Il associait *intelligence* à « esprit, ou intellect (*mind*), ou quelque chose comme ça », tandis que *smartness* était « plutôt neutre, ou physique, ou bien conçu ». Il écrivit ces termes au tableau.

– Pour moi, lui ai-je dit, je comprends le mot *smart* dans le sens flexible et rapide, quand on parle de substances.

– Ah, d'accord, alors ce mot est mieux approprié pour notre étude. Flexibilité et adaptabilité. Et il a inscrit les deux termes sous le mot *smartness*.

Ceci m'a poussé à mentionner la définition de l'intelligence donnée par Anthony Trewavas à propos des plantes :

– Un comportement adaptatif qui varie au cours de la vie d'un individu.

– Oui, oui, oui, a-t-il répondu. Toutes sortes d'organismes ont ces aptitudes, adaptabilité et flexibilité. C'est bien vrai, je crois. Il mettait en contraste ces aptitudes avec *conscience* (*awareness*)

1. Nous utiliserons souvent *smart* et *smartness*, comme dans le texte original anglais, car ces termes ne sont pas vraiment traduisibles en français. Dans la plupart des cas, *astucieux* semble une meilleure traduction que *habile* (qui implique un bon maniement), ou *ingénieux* (qui se rapporte à engendrer et inventer).

et *intellect* (*mind*), et poursuit la discussion sur le traitement de l'information dans les systèmes biologiques. Il a écrit le mot *inconscience* (*unconsciousness*) au tableau et ajouté que, chez les humains, la plus grande partie du traitement de l'information se passe au niveau inconscient. « La conscience n'est donc que l'étroit sommet d'une grande montagne. En ce sens, toutes sortes d'organismes ont une forme de niveau inconscient de traitement de l'information. Cette aptitude est très développée, beaucoup plus que nous le pensons. »

Nakagaki a sorti un plat rond en plastique et me l'a tendu. Il contenait le labyrinthe original de trois centimètres sur trois avec lequel lui et ses collègues avaient testé les myxomycètes. C'était un labyrinthe en négatif découpé dans une pellicule de plastique et superposé à une plaque de gélose. Comme les myxomycètes n'aiment pas les surfaces sèches, elles ne rampaient que sur la plaque d'agar-agar humide et gélatineuse que la pellicule plastique ne recouvrait pas.

Puis il s'est tourné vers son ordinateur et nous a montré quelques images vidéo de l'expérience. On voit d'abord Nakagaki découper en trente morceaux le bout d'un myxomycète vivant et déposer ceux-ci en divers endroits du labyrinthe. Comme cet organisme se déplace à la vitesse d'environ 1,35 cm par heure, il faut filmer en accéléré pour percevoir ses mouvements. Une séquence de deux minutes concentre plusieurs heures d'action et montre les morceaux du myxomycète s'étirer le long des couloirs du labyrinthe et se fondre les uns aux autres. Ils se recollent en un seul organisme, une cellule géante, qui couvre tout l'espace disponible à l'intérieur du labyrinthe. Puis Nakagaki place la nourriture favorite des myxomycètes, des flocons d'avoine, à l'entrée et à la sortie du labyrinthe. Des vagues se mettent à onduler à travers le corps jaunâtre du myxomycète, commençant près du repas d'avoine et rejaillissant le long des couloirs du labyrinthe. Puis la masse aplatie de gelée jaune qui constitue le corps du myxomycète commence à développer des « veines » qui se répandent à tra-

vers tout le labyrinthe. La morve visqueuse finit par se retirer des impasses, évitant les détours et se contractant en une seule artère connectée aux deux sources de nourriture par la voie la plus directe.

Après avoir vu ces images, j'ai demandé à Nakagaki s'il pouvait nous montrer des myxomycètes vivants. Nous sommes sortis de son bureau et il nous a conduits jusqu'à une chambre de stockage d'organismes unicellulaires, située de l'autre côté du corridor. La chambre elle-même était peinte dans un jaune fade et contenait plusieurs réfrigérateurs. Il en a ouvert un et a sorti un récipient en plastique d'environ trente centimètres de haut à moitié rempli par un myxomycète jaune vif. À y voir de plus près, la texture de la créature unicellulaire géante était un peu semblable à de la purée de pommes de terre. Nakagaki a expliqué que lorsque les myxomycètes manquent d'eau, ils se mettent en état de sommeil, et alors ils s'assèchent et peuvent se conserver presque indéfiniment.

J'étais curieux de savoir comment l'idée de mettre un myxomycète dans un labyrinthe lui était venue. Il me répondit que plusieurs années auparavant, l'une de ses tâches consistait à nourrir les myxomycètes du laboratoire. Il leur donnait en général des flocons d'avoine. Un jour, il avait remarqué que s'il répandait les flocons au hasard sur la moisissure, elle formait des tubes se reliant aux sources de nourriture, et que ces tubes étaient connectés entre eux de façon à ce que l'organisme bénéficie de la quantité maximale d'éléments nutritifs en une quantité minimale de temps. Comme Nakagaki avait reçu une formation en mathématiques, il avait commencé à essayer de « mettre en lumière l'astuce (*smartness*) de ce réseau de tubes ». Et il nous dit que la raison d'être du labyrinthe était de tester la manière dont cette astuce s'exprimait.

Nous sommes revenus à son bureau et il a expliqué que ces morves unicellulaires ont la capacité de se transformer en un réseau tubulaire efficace. C'est impressionnant, si l'on considère

que les humains ont de la peine à déduire quelles sont les connexions les plus courtes, ne serait-ce qu'entre quelques lieux. Il esquaissa quelques modèles de réseaux tubulaires générés par les myxomycètes. Le tableau commençait à ressembler à une carte routière en chantier. Il effaçait les choses anciennes et dessinait dans l'espace libéré.

Ce faisant, Nakagaki raconta comment le myxomycète se transformait en un réseau tubulaire efficace en se contractant, puis en relaxant son corps par vagues. En variant le rythme des contractions, il déplace son contenu gélatineux soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur. Quand on répand de la nourriture sur l'organisme, ses contractions changent du tout au tout. Ces modes de contraction sont auto-organisés, puisqu'il n'y a ni dirigeant ni conducteur dans le protoplasme ; en fait, les différentes parties de la morve homogène interagissent de manière synchronisée. Pour Nakagaki, la manière dont fonctionne cette auto-organisation pose une sérieuse question de mathématiques et de physique théorique. « Ainsi, dans cet organisme, il n'y a pas de système nerveux, pas de cerveau, et pourtant, il a la capacité de résoudre des problèmes mathématiques difficiles. Mais le mode de computation de cet organisme demeure encore inconnu », dit-il.

Les contractions rythmiques qui ondulent à travers le myxomycète et lui permettent de se déplacer sont régulées par un mécanisme complexe qui doit encore être élucidé. Pour le moment, les chercheurs ont déterminé que diverses substances participent à la régulation de ces contractions, dont des atomes chargés de calcium, en état d'oscillation. Ces oscillateurs biochimiques peuvent donner lieu à des vagues qui se propagent à travers le corps de l'organisme et semblent conduire au développement de tubes. Mais les détails restent obscurs. Pour Nakagaki, afin de mieux comprendre la manière dont les myxomycètes agissent comme ils le font, il faudrait maintenant recourir à un modèle mathématique de leur comportement, et en particulier de leurs contractions. Comprendre d'un point de vue mathématique en quoi consistent

les modalités de contraction permettrait de savoir comment les myxomycètes auto-organisent leurs mouvements. Cela, dit-il, était l'objet de sa recherche en cours.

Je lui ai demandé comment son travail avait été accueilli par la communauté scientifique internationale. Il a répondu qu'il participait à des congrès internationaux de mathématiques et de physique appliquées, et que les chercheurs dans ces domaines avaient apprécié son travail. Mais il n'avait guère eu de répondant de la part des biologistes. Cela me semblait surprenant, et je lui ai demandé pourquoi, selon lui, il en était ainsi. « La nouvelle génération de biologistes travaille sur la biologie moléculaire, dit-il. Pour eux, l'important n'est pas de savoir comment le système biologique fonctionne. En principe, ils sont seulement chimistes. » Il rit. « Mais les biologistes qui étudient le comportement des animaux apprécient mes résultats. »

J'avais l'impression qu'un nombre croissant de scientifiques s'ouvraient à l'idée de l'intelligence dans la nature. J'ai demandé à Nakagaki s'il le croyait aussi. Il a répondu qu'après avoir publié sa recherche sur la résolution d'un labyrinthe par les myxomycètes, il était devenu plus prudent dans son usage du terme *intelligence*. La définition de ce mot « intelligence » semblait varier d'une personne à l'autre, et selon certaines critiques, le comportement des myxomycètes ne pouvait pas être considéré comme intelligent, parce que, selon eux, ils ne résolvaient pas le labyrinthe suite à une décision consciente.

J'ai demandé comment ces critiques pouvaient être sûrs que les myxomycètes n'étaient pas conscients.

– Je l'ignore. Mais, je le répète, la conscience n'est que l'étroit sommet d'une haute montagne.

Il considérait que le terme *conscience* était utile pour se référer à la *conscience de soi*, comme les humains qui s'observent eux-mêmes en train de s'observer eux-mêmes.

Je doutais, quant à moi, que l'introduction de concepts tels que *conscience* et *soi* puissent vraiment éclairer la notion

d'intelligence, ne serait-ce que parce que les mécanismes de la conscience et la nature du soi demeurent obscurs. Néanmoins, la recherche de Nakagaki montrait que les myxomycètes arrivent à calculer. Et certains considèrent la faculté de calcul comme l'une des plus belles réussites intellectuelles de l'humanité. Je lui ai demandé ce qu'il en pensait.

« Les myxomycètes calculent, a-t-il répliqué, mais ce processus correspond au niveau inconscient, je pense. » Il s'est levé et a écrit *niveau inconscient* au tableau. À son avis, la majeure partie du traitement de l'information interne opère à ce niveau, même chez les êtres humains. « Je doute que quiconque puisse expliquer comment son corps tient en équilibre lorsqu'il roule à bicyclette. Quand nous le faisons, notre corps fait tout naturellement les calculs requis pour résoudre l'équation. Il serait assez difficile pour nous de les définir clairement au niveau conscient, et si quelqu'un était capable de le faire et publiait un papier sur la méthode utilisée, cela serait indubitablement une contribution importante à la littérature scientifique. » Pour Nakagaki, tous les organismes vivants sont dotés de mécanismes inconscients de traitement de l'information. Que cela constitue ou non *l'intelligence* est matière à débat. Sa recherche a pour but de mettre en lumière ces mécanismes, si possible à un niveau matériel, afin de découvrir si, oui ou non, les créatures unicellulaires possèdent une intelligence. Dans cette perspective, les myxomycètes sont un sujet d'étude idéal.

Après avoir passé l'après-midi à parler, nous sommes allés dîner ensemble. Nakagaki avait invité son épouse Yuka et leur fils Gen-ichiro, âgé de trois ans. Nous étions dans un restaurant spécialisé en cuisine japonaise traditionnelle, assis autour d'une table basse dans un espace séparé des autres par des parois de bambou. Yuka avait travaillé pendant dix ans dans une agence de voyages. Elle parlait avec enthousiasme, dans un anglais fluide, de la Corée du Sud, l'un de ses pays favoris. Gen-ichiro jouait tranquillement avec le téléphone portable de sa mère. Malgré les

nombreux verres de saké, j'avais encore quelques questions à poser. En particulier, je voulais savoir si Nakagaki pensait qu'étudier l'intelligence dans la nature était important. Il répliqua que c'était « l'une des questions les plus importantes des sciences ».

J'étais bien d'accord, mais je lui ai rappelé que, jusqu'à récemment, la plupart des scientifiques partageaient l'opinion que la nature était dépourvue d'intelligence.

– Eh bien, cette opinion est fausse. C'est évident, a-t-il répondu. La plupart des scientifiques sont sûrement mal informés sur cette question. Ils ne pensent qu'à leur propre domaine. En dehors de leur propre thématique, ils sont mal informés.

Il m'a regardé bien en face depuis l'autre bout de la table et a ajouté :

– Votre sujet de réflexion est l'intelligence dans la nature, et vous enquêtez sur plusieurs cas de recherche à propos de l'intelligence dans la nature. Alors, vous en savez plus que moi sur ce sujet. *Vous* êtes le spécialiste du problème de l'intelligence dans la nature. Que vous soyez un scientifique ou non ne joue aucun rôle. Depuis l'époque de la philosophie grecque, nous nous posons des questions fondamentales sur l'intellect (*mind*) et l'intelligence. Archimède et Pythagore se penchaient déjà sur ces graves problèmes. Nous ne sommes pas obligés de partager les opinions de la majorité des scientifiques.

Après cette rencontre avec Nakagaki, j'ai réfléchi au concept de *chi-sei*. Il disait que les Japonais ne questionnaient pas le fait d'appliquer ce terme aux myxomycètes traverseurs de labyrinthe. Peut-être avais-je besoin d'un tel concept. Le mot *intelligence* avait été défini de trop de manières différentes, il était trop chargé. Et dans le sens populaire, *smartness* signifie d'abord « chic, élégance, allure », ce qui affaiblissait la pertinence de son emploi dans mon enquête. Lorsqu'un myxomycète traverse un labyrinthe, il montre une capacité de reconnaître sa situation, de savoir. Et si un unicellulaire gluant fait preuve de *chi-sei*, alors quelle créature vivante en est-elle dénuée ?

CHAPITRE 9

Les papillons-machines japonais

Après avoir escaladé un volcan fumant près de Sapporo, Beatrice et moi, nous nous sommes mis en route pour Kyoto, le centre historique de la culture japonaise. En été, Kyoto est brûlant et lourd. La cité abrite deux mille temples. Nous avons passé plusieurs jours à visiter des sites. Nous avons parcouru le Chemin de la Philosophie, qui longe un canal bordé de cerisiers. Nous avons visité le Pavillon d'Or Kinkaku-ji sous la pluie. Nous avons traversé des jardins minutieusement soignés avec des tapis de mousse et des étangs abritant de nombreuses carpes sacrées. Une notice à l'entrée d'un temple expliquait, en traduction anglaise, que les jardins zen sont de « la nature concentrée » (*compressed nature*). Un autre écriteau surmontant une petite exposition d'échantillons de mousse disait : « *Very Important Moss* (comme les VIP : *Very Important People*). » Accorder une attention toute particulière aux détails de la nature semblait être un talent bien japonais.

De Kyoto, nous avons pris un train pour Tokyo, et nous nous sommes installés dans un petit hôtel du centre-ville. La taille gigantesque de Tokyo demande qu'on s'y habitue. Nous avions à peine établi nos repères quand le premier typhon de la saison éclata. Le ciel se couvrit de nuages noirs et des rafales de vent se mirent à souffler à travers les avenues. Des trombes quasi horizontales de pluie s'abattaient sur la ville. Les gens dans la rue

s'arc-boutaient pour résister et marchaient avec leurs parapluies dirigés contre le vent.

Le jour suivant, le typhon faisait encore rage, et nous nous sommes rendus à Yokohama, la deuxième ville principale du Japon, qui maintenant forme une mégapole ininterrompue avec Tokyo. J'avais rendez-vous à l'université de Yokohama City avec Kentaro Arikawa, un professeur qui se consacrait à l'étude de la neurologie des papillons depuis vingt-cinq ans. Arikawa est le chercheur qui a découvert que les papillons voient en couleurs et que leurs minuscules cerveaux abritent des systèmes optiques sophistiqués. L'une de ses autres découvertes, c'est que les papillons possèdent des yeux sur leurs organes génitaux.

Le système de métro à Tokyo est essentiellement signalisé en japonais, et labyrinthique. Nous avons fini par trouver la ligne à ciel ouvert pour Yokohama, et nous avons voyagé pendant une heure à travers un interminable paysage urbain. La tempête qui faisait rage tout autour de nous faisait trembler le train. Une fois arrivé à destination, j'ai appelé Kentaro Arikawa depuis une cabine publique à l'extérieur de la gare, comme il m'avait dit de le faire. Quelques minutes plus tard, il est apparu au volant d'une voiture grise et a fait un appel de phares dans notre direction. Il était facile de nous reconnaître : nous étions les seuls *gaijin*, ou étrangers, à proximité. Nous nous sommes précipités sous les trombes d'eau pour rejoindre sa voiture aussi vite que possible. Nous avons échangé une poignée de main, puis Arikawa a démarré en nous rassurant : nous n'allions pas loin.

J'étais assis à côté de lui sur le siège avant et essuyais la pluie sur mon visage. Arikawa était grand et maigre. Ses cheveux noirs étaient coupés court, il portait des lunettes à montures d'acier et son visage exprimait la gentillesse et la douceur. Il avait quarante-cinq ans environ. Il portait une chemise à manches courtes, un pantalon foncé, des chaussures en cuir et une grosse montre qui semblait faite pour la plongée sous-marine. Après un court trajet, nous sommes arrivés au campus de Yokohama City Uni-

versity, et Arikawa a parké sa voiture en face de l'École supérieure de science intégrée (*Graduate School of Integrated Science*), où il enseigne et conduit ses recherches. Tandis que nous nous hâtions sous la pluie jusqu'à l'entrée principale, je lui ai demandé ce que les papillons faisaient pendant les typhons. « Ils se cachent dans les trous des arbres, dit-il, ou sous les feuilles. »

Cette fois, nous n'avons pas enlevé nos chaussures. Nous avons pris l'ascenseur jusqu'au cinquième étage et avons marché jusqu'au bureau de Arikawa. Il nous a invités à nous asseoir autour d'une table confortable et nous a proposé de faire du thé. Je lui ai expliqué mon intérêt pour son travail en lui décrivant mon enquête et en lui disant que je pouvais percevoir des signes d'intelligence à presque tous les niveaux de la nature, y compris chez les plantes.

– Je ne sais pas grand-chose des plantes, dit-il, mais notre intelligence doit avoir trouvé son origine chez des animaux qui étaient nos ancêtres. Aussi, l'intelligence, en tant que mécanisme de prise de décision, doit exister chez les animaux actuels. Et, comme vous le dites, elle est largement répandue, même chez les papillons.

Il décrivit le travail auquel il était occupé avec ses collègues : étudier la capacité des papillons à voir les couleurs.

– Nous avons déjà découvert que leur système de vision est extrêmement complexe. Et bien sûr, nous nous intéressons au comportement conscient, et nous avons montré qu'ils perçoivent les couleurs et qu'ils disposent d'une faculté appelée « constance des couleurs ».

Arikawa expliqua cette faculté en donnant l'exemple d'un observateur humain qui distingue le rouge d'une pomme aussi bien à la lumière du jour qu'à l'intérieur d'une pièce, bien que les gammes spectrales du soleil et de l'intérieur soient très différentes ; dans ce cas, l'expérience subjective du rouge reste identique, car le cerveau de l'observateur ajuste sa perception des longueurs d'onde atteignant les yeux. Cela, c'est la constance

des couleurs. Il apparaît que les microcerveaux des papillons sont, eux aussi, capables de cet exploit.

Arikawa a sorti un feuillet de carton noir sur lequel étaient apposés des spécimens de diverses couleurs, en expliquant comment lui-même et plusieurs de ses collègues avaient réussi à démontrer que les papillons *Papilio xuthus* voient en couleurs et bénéficient de la constance des couleurs. Dans une cage placée dans le laboratoire, les chercheurs avaient entraîné les papillons à se nourrir d'eau sucrée placée sur un échantillon de couleur donné. Puis ils avaient présenté aux papillons la couleur dont ils avaient fait l'apprentissage, mais cette fois disposée au hasard parmi plusieurs autres échantillons de couleurs diverses et dépourvus d'eau sucrée. Les papillons choisissaient sans hésiter la couleur d'apprentissage parmi les autres couleurs, qui comprenaient également une gamme de gris nuancée. Ils l'avaient aussi choisie sous divers éclairages, démontrant par là que leur perception de la couleur était constante. Les papillons doivent pouvoir distinguer les couleurs afin de reconnaître dans un champ les fleurs dont ils peuvent se nourrir. Pour trouver la nourriture, ils utilisent l'information donnée par les couleurs. Et comme la nourriture ne doit pas être autre chose que de la nourriture, que ce soit au soleil, dans un sous-bois, ou n'importe où ailleurs, la constance des couleurs est importante pour les papillons.

Au cours de leurs recherches, Arikawa et ses collègues ont aussi démontré que la rétine du papillon *Papilio xuthus* dispose d'au moins cinq types de récepteurs spectraux : ultra-violet, violet, bleu, vert et rouge. Ils ont même récemment découvert un sixième récepteur, à bande passante large (*broadband*), qui détecte la luminosité ambiante. En comparaison, les humains ne disposent que de trois récepteurs spectraux : rouge, vert et bleu. Arikawa et ses collègues en ont conclu que « le système de vision richement doté des

papillons procure à ces animaux un appareillage versatile de traitement de l'information ».

Étonnamment, le minuscule cerveau d'un papillon est équipé d'un système de perception de la couleur supérieur au nôtre à certains égards.

Les photorécepteurs ultraviolets sont utiles à plusieurs choses. Ils permettent aux papillons de voir les fleurs qui ont des taches de pigments ultraviolets, indicateurs de nectar et de pollen à l'intérieur. Ils permettent également aux papillons mâles de détecter les rayures ultraviolettes ornant les ailes arrière des papillons femelles, ce qui facilite les parades de séduction et l'accouplement. Parfois, la nature utilise des signes que les yeux humains ne peuvent pas détecter.

Le système de vision du papillon se développe en cours de métamorphose, lorsque les jeunes papillons ne sont encore que des chenilles adultes en train de se transformer dans la chrysalide. Alors que les chenilles ont six yeux simples de chaque côté de la tête, les papillons développent une paire additionnelle d'yeux composés. Les yeux simples des chenilles n'ont que trois types de photorécepteurs, tandis que les yeux composés des papillons en possèdent deux fois autant. Les papillons sont des transformateurs. Dans la chrysalide, non seulement il leur pousse des ailes, mais ils se fabriquent aussi de nouveaux yeux.

Je trouvais le travail d'Arikawa passionnant, mais je me demandais ce qui avait pu pousser quelqu'un à passer plusieurs dizaines d'années de sa vie à se concentrer sur la perception de la couleur chez les papillons. Je lui ai posé la question. Il m'a répondu :

– En fait, comme je suis daltonien, je m'intéressais au processus de perception de la couleur en général, et je voulais savoir comment se passe le traitement de la couleur dans le cerveau et dans les yeux. Et puis, vraiment, j'aime les papillons depuis mon enfance. J'ai été élevé en collectionneur d'insectes. Mon père me donnait de jolis filets et m'emmenait

dans des endroits où je pouvais attraper des papillons et des scarabées.

Arikawa ajouta que lorsqu'il était jeune, il avait un album de science pour enfants qui affirmait que les insectes en général ne voient pas le rouge. C'était l'opinion scientifique de mise à l'époque. Mais Arikawa en savait plus parce qu'il avait observé de près le comportement des papillons dans le jardin de ses parents à Tokyo.

– Ma mère adorait les fleurs, et il y avait toutes sortes de fleurs dans le jardin. Nous avions d'immenses lis tigrés et des hibiscus. Et je savais que ces papillons préfèrent vraiment les fleurs rouges aux jaunes ou aux bleues. Il me semblait étrange que les insectes, y compris les papillons, ne puissent pas percevoir le rouge. Telle a été l'origine première de mon intérêt dans le système de vision colorée des papillons.

Arikawa avait étudié les papillons tout au long de sa vie professionnelle. Il avait apporté sa première contribution à la science en 1979 déjà, en tant que licencié. Il avait découvert alors que les papillons possèdent des neurones sensibles à la lumière juste à côté de leurs organes génitaux. Il avait trouvé qu'ils utilisent ces « yeux », ou photorécepteurs, pour un accouplement réussi entre mâles et femelles, et que les femelles les utilisent également pour confirmer qu'elles pondent bien leurs œufs.

Après avoir pris son poste d'enseignant universitaire, Arikawa avait poursuivi son travail en démontrant que les papillons ont une vision des couleurs qui inclut la perception de la couleur rouge. Je lui ai demandé :

– Maintenant que vous avez étudié leurs cerveaux et leur système visuel pendant si longtemps, pensez-vous que les papillons pensent ?

– Je l'espère bien, a-t-il répondu.

– Pourquoi l'espérez-vous ?

Il a ri. Après un long silence, il a dit en pesant ses mots : « Il s'agit peut-être d'un problème de définition du verbe *penser*.

Quoi qu'il en soit, ils doivent prendre des décisions. » Il a poursuivi en donnant quelques exemples. Les papillons doivent décider quelles fleurs visiter, en tenant compte de leur faim et du type de nourriture qu'ils désirent. Selon les circonstances, ils peuvent vouloir des nutriments aqueux plutôt qu'un épais nectar. Il a ajouté que, pour un papillon, prendre une décision n'est pas simple. Puis il a déclaré : « Je crois qu'il doit y avoir une forme d'intelligence primitive chez ces animaux, ou une capacité de penser en choses. Je ne crois pas qu'une simple chaîne de réflexes soit suffisante pour expliquer la totalité du phénomène. »

Je pensais à la manière dont Arikawa pensait à la pensée des papillons. Cela me rappela l'histoire de Tchouang-Tseu, fondateur présumé du taoïsme philosophique, qui avait rêvé qu'il était un papillon et ne savait plus, au réveil, s'il était Tchouang-Tseu ayant rêvé qu'il était un papillon, ou un papillon rêvant qu'il était Tchouang-Tseu. J'ai demandé à Arikawa si quelqu'un avait étudié le rêve chez les papillons, ou les états cérébraux associés aux rêves, connus sous le nom de REM (*Rapid Eye Movement*, mouvements rapides des yeux, ou sommeil paradoxal). Il a répondu qu'il était impossible d'étudier cela puisque les yeux des papillons sont immobiles, fixés à la capsule de leur tête. « Mouvement des yeux signifie mouvement de la tête. Il n'est pas exclu que leur tête bouge quand ils dorment, mais nous ne pouvons pas donner une définition précise de leur sommeil pour le moment. La nuit, ils sont tranquilles, ils ne bougent pas, ils sont suspendus sous des feuilles, si bien qu'ils ont l'air de dormir, mais j'ignore ce qu'il en est vraiment. »

Arikawa n'hésitait pas à montrer les limites de ses connaissances. Et il choisissait soigneusement ses mots, même si la langue anglaise n'était pas sa langue maternelle. Son approche de la pratique des sciences avait quelque chose d'harmonieux. Ce qui semblait approprié, puisque nous étions assis au sein de l'École supérieure de science intégrée, un département

universitaire où les étudiants recevaient un enseignement combiné de physique, chimie, biologie et mathématiques, afin de développer leur capacité de produire un travail interdisciplinaire.

En sciences, les vraies approches interdisciplinaires sont rares. Le travail des scientifiques japonais faisait preuve d'une certaine maturité à cet égard. J'ai voulu savoir ce qu'il y avait de spécial dans l'approche japonaise des sciences. Arikawa m'a d'abord répondu avec modestie, niant que le Japon ait plus de qualités que les pays occidentaux en matière d'approches interdisciplinaires. Mais je savais qu'au Japon, faire preuve de modestie est considéré traditionnellement comme une vertu, même lorsqu'on a plus d'expérience et de connaissances que ses interlocuteurs. Comme le dit un dicton japonais, « un faucon intelligent cache ses talons », en d'autres termes, les personnes réellement compétentes ne vantent pas leurs talents.

J'ai insisté sur le génie de la technologie japonaise, qui montrait bien que quelque chose de spécial se passait dans les laboratoires japonais. Il a ri : « Je connais trop bien ce pays. Il est donc très difficile pour moi de dire ce que le Japon a de particulier en comparaison des autres nations. Mais ce que je peux affirmer, c'est que nous n'hésitons pas à casser les vieilles choses. La plus grande partie du Japon a été totalement détruite pendant la dernière guerre. Nous nous sommes débarrassés de certaines vieilleries et avons importé de nombreuses nouveautés. » Il a ajouté que, parfois, il avait un sentiment de tristesse pour les Japonais lorsqu'il voyageait en Europe et voyait que des gens habitaient encore dans de très vieux immeubles. Mais il a ajouté que si les Japonais, pour la plupart, ne vivaient pas dans des vieux immeubles, ils avaient l'avantage de « ne pas être piégés dans de vieilles cultures ».

En référence délibérée aux papillons, j'ai demandé s'il était juste de dire que les Japonais aiment les *métamorphoses*. Il a ri et répondu :

– Dans un certain sens, oui. Nous avons été forcés à la métamorphose, à cause de la guerre, et aussi à cause de notre environnement naturel, parce que nous avons une quantité de volcans, et des typhons et des tremblements de terre qui détruisent tout. De sorte que nos vieux bâtiments ne peuvent tout simplement pas survivre, à cause de la nature.

Le Japon, archipel volcanique situé à proximité d'une faille dans les fonds marins, est l'une des régions sismiques les plus actives de la planète. D'immenses raz de marée, appelées *tsunami*, accompagnent fréquemment les tremblements de terre. Chaque année, des centaines de séismes secouent le Japon. La nature y est puissante et incontrôlable. Elle détruit les villes, les inonde, les abat à coups de bourrasques. Godzilla, le monstre qui surgit du fond de la mer pour venir détruire Tokyo, incarne simplement les forces de la nature. Les Japonais ont l'habitude de reconstruire leur monde. Et, dans la perspective d'Arikawa, cet état de fait améliore leur capacité d'innovation.

Le typhon faisait trembler les vitres de son bureau. Me tournant vers l'avenir, j'ai demandé à Arikawa si son travail avait des implications sur la robotique. « Bien sûr, nous fournissons nos données à des roboticiens, mais personnellement je n'y contribue pas directement. » Sa réponse m'a poussé à lui demander ce qu'il pensait de l'opinion scientifique selon laquelle les animaux étaient des machines. Me référant à Descartes, je lui ai demandé s'il considérait les papillons comme des machines.

– Hum ! fit-il. Les matériaux qui constituent le corps du papillon sont assez différents de ceux dont on fait des machines. En un sens, nos corps sont des machines aussi. Aussi, nous devons savoir cela. Notre intelligence et celle des papillons, si elle existe, sont le produit de l'activité du cerveau. Et je pense que nos émotions, ou nos pensées, tout cela est issu de l'activité cérébrale. Donc, si nous admettons que le cerveau est une

machine biologique, alors les papillons sont assimilables à des machines.

– Et nous le sommes aussi ?

– Nous le sommes aussi. Mais notre corps ne peut être comparé à aucune machine existante actuellement, tels les ordinateurs ou les photocopieuses, ou les voitures et les avions. Non, il y a une différence fondamentale. Et pourtant, je pense qu'il y a également une continuité, qu'il n'y a pas de frontière nette entre notre système et les machines. Je ne sais pas si nous pouvons vraiment reproduire des animaux en manipulant des bouts de matière, mais nous autres, biologistes, nous voulons expliquer comment notre intellect (*mind*) est construit, ou produit, sur la base de l'activité cérébrale. Du moins ai-je tenté de le comprendre.

Je lui ai demandé combien de temps, selon lui, il faudrait à des techniciens travaillant dans la robotique pour fabriquer un papillon complet, avec sa vision sophistiquée des couleurs et sa neurologie complexe. « Le problème, c'est que leur objectif n'est pas de produire des papillons, ou de la matière vivante telle qu'elle est, répondit-il. Ce qu'ils veulent, c'est simplement extrapoler certaines fonctions animales pour les utiliser au bénéfice de la vie humaine. S'ils essayaient vraiment de fabriquer cet animal, pour le plaisir... » Il y eut un silence. « ... eh bien, disons, une centaine d'années ».

Un siècle pour fabriquer un papillon ! Arikawa se fiait de toute évidence au pouvoir de la science. J'avais du mal à le croire. Mais je pensais que si quelqu'un, un jour, devait réussir à fabriquer un papillon, ce serait probablement un Japonais. Comme le *designer* anglais Andrew Davey l'a récemment bien relevé : « La miniaturisation de la forme couplée à la maximisation de la fonction est une spécialité japonaise. C'est le sceau du design japonais. »

Arikawa offrit alors de nous montrer quelques papillons vivants. Après être redescendus, nous avons quitté le bâtiment.

Dehors, la pluie se calmait, mais les vents soufflaient encore avec force. Une fois dans sa voiture, nous avons parcouru une petite distance jusqu'à son laboratoire situé dans un bâtiment d'un étage en préfabriqué. Cette fois, nous avons enlevé nos chaussures et enfilé des mules à l'entrée. Arikawa nous a montré les machines sophistiquées servant à mesurer la sensibilité spectrale des yeux des papillons. Cette recherche demandait que l'on dépouille le papillon de ses ailes, que l'on attache les insectes vivants à un appareil et insère des microélectrodes dans leurs yeux. J'ai demandé à Arikawa s'il pensait que les papillons perçoivent la douleur.

– Je ne crois pas, répondit-il, parce qu'ils ne changent pas de comportement quand ils sont blessés aux yeux, ils ne réagissent pas du tout. Il n'y a donc aucun signe visible qu'ils éprouvent de la douleur. Du moins quand on leur perce la cornée ou qu'on leur casse les ailes – les papillons ont souvent des ailes cassées –, cela ne porte pas à conséquence.

J'avais mes doutes à ce sujet, en me rappelant les propos de Martin Giurfa sur le système nerveux des abeilles, qui sécrétait des opioïdes, probablement pour induire une analgésie. Mais j'ai décidé de ne pas insister sur ce point. Pour l'heure, les droits des invertébrés ne sont en général pas une priorité.

Nous sommes entrés dans une autre pièce où six étudiants doctorants travaillaient sur des ordinateurs. Silencieux, ils se concentraient sur leur travail. Arikawa s'est dirigé vers une boîte grillagée qui contenait de la végétation et plusieurs papillons jaunes (*Papilio xuthus*). Il en a saisi un par le thorax entre le pouce et l'index et l'a approché de nous pour que nous puissions le voir. Ses ailes étaient décorées de motifs complexes et magnifiques.

Puis Arikawa nous a montré des vers à soie adultes. Ces animaux étranges sont des papillons dont on fait la culture pour leur capacité à produire de la soie quand ils sont à l'état larvaire. Une fois les mâles devenus adultes, ils se contentent de rester immobiles jusqu'à ce qu'ils sentent les phéromones sécrétées

par les femelles, puis ils s'accouplent. Les femelles pondent des œufs. Les vers à soie adultes ne mangent jamais. Ils copulent, pondent des œufs et meurent. C'est tout. Arikawa a déposé quatre vers à soie mâles sur un morceau de papier brun. Ils ressemblaient à des papillons de nuit blancs aux ailes courtaudes. Ils ne bougeaient absolument pas. Mais lorsqu'il les vaporisa avec une fiole contenant des phéromones femelles, ils se mirent à bourdonner activement, battant des ailes et tournant en cercle sur le papier.

Arikawa nous dit que les vers à soie lui avaient été donnés la veille par un collègue avec lequel il avait présenté un cours public de sciences. Je lui ai demandé s'il appréciait la communication avec le grand public. Il a répondu que s'engager activement pour la démocratisation des sciences faisait partie de son mandat professionnel, et qu'il aimait stimuler l'intérêt des gens pour les papillons. Je lui ai demandé quel était son sentiment sur l'ingérence croissante de l'économie sur les sciences, qui prenait le pas sur un partage des connaissances librement accessible à tous.

— Oui, c'est triste, dit-il. Je dirais que le but de notre existence est de nous amuser, de jouir de la vie. La question est donc la suivante : comment pouvons-nous jouir de la vie, ou faire ce qui nous rend heureux ? Gagner de l'argent est l'une de ces choses, c'est donc important, et l'utilisation de voitures ou de choses de ce genre simplifie l'existence. Mais je veux aussi ajouter à la liste des divertissements telles la musique ou la lecture de romans, qui stimulent le cerveau. Et la science doit être considérée, au même titre que la musique, comme un élément important de divertissement social pour la vie humaine. Voilà pourquoi j'apprécie les activités démocratiques.

Plus tard dans l'après-midi, Beatrice et moi avons repris le chemin de Tokyo. Le typhon tirait à sa fin. La pluie avait cessé. Des centaines de parapluies en plastique démembrés jonchaient le sol autour des poubelles de la station de métro Shinjuku. Pen-

dant que nous nous baladions en ville, le soleil couchant a percé à travers une trouée dans les nuages et illuminé de rose et de pourpre le ciel de la cité.

Au passage, nous sommes entrés dans un magasin et avons admiré la sophistication des derniers gadgets électroniques. Plusieurs animaux mécaniques animés ont attiré mon attention, en particulier un petit oiseau vert qui gazouillait diverses mélodies lorsque la cellule photosensitive placée sur sa poitrine était stimulée. Quand il chantait, il bougeait son bec, hochait la tête et remuait la queue. Je pensais aux papillons, dotés de photorécepteurs sur la queue. Et les mots de Kentaro Arikawa me sont revenus à l'esprit : « Il n'y a pas de frontière nette entre nous et les machines. » À certains égards, les papillons voient mieux que nous, même si leurs cerveaux se limitent à la taille d'une petite graine de deux millimètres de diamètre à peine. Leur cerveau minuscule peut même ajuster son interprétation des couleurs en fonction de la luminosité. Un circuit étonnant et complexe doit se trouver dans le cerveau du papillon, circuit dont les détails nous sont inconnus à ce jour.

Les papillons sont des transformateurs : ils se métamorphosent dans la chrysalide, en passant de l'état de ver à celui d'insecte ailé. Les habitants du Japon sont des transformateurs, forcés par les volcans et l'histoire à innover et à se renouveler. Les chamanes sont des transformateurs, ils se changent en animaux dans leurs têtes. Chaque créature vivante est un transformateur, résultant d'une longue série de transformations, au cours d'une évolution qui ne finit pas. Chaque cellule vivante est, au sens propre, un transformateur, transformateur de charges entre l'extérieur et l'intérieur de sa membrane. La vie elle-même est un transformateur : elle diversifie et se déploie en morphologies multiples en prenant autant de formes incarnées que possible. Et les machines qui agissent comme des animaux sont des transformateurs et se situent à mi-chemin entre la machine et un être vivant.

Kentaro Arikawa avait déclaré qu'il n'y avait pas de frontière nette entre nous et les machines. Il avait dit cela avec sérénité, sans regret, ajoutant que nous-mêmes, nous sommes les produits des machines que sont nos corps et nos cerveaux. Sans regret, car les machines peuvent être belles, et ont même commencé à se comporter comme des créatures biologiques. En réfléchissant à son point de vue, une modification de l'affirmation de Descartes me traversa l'esprit : « Je pense, donc je suis une machine. »

Mais avec cela, je n'étais pas d'accord.

CHAPITRE 10

Mystérieuse gelée

Après ce voyage au Japon, j'ai commencé à orienter mon enquête sur le *chi-sei* de la nature, ou *capacité de savoir* – plutôt que sur l'*intelligence*. Je voulais savoir comment la nature sait.

Les abeilles sont à même d'abstraire, les myxomycètes savent résoudre des labyrinthes, et les plantes de cuscute, évaluer le monde qui les entoure. Ces espèces font preuve d'une capacité de savoir, mais elles ne parlent pas la langue humaine et ne peuvent pas nous dire ce qu'elles savent. Leur aptitude à savoir reste difficile à comprendre. Les humains, au contraire, ont la parole facile. Et nous également, nous sommes une espèce naturelle. L'*Homo sapiens sapiens* a un cerveau remarquablement semblable à ceux des autres mammifères. En fait, le cerveau humain a la même architecture de base que celui des autres vertébrés. En l'absence de barrières entre les humains et les autres espèces, je me suis rendu compte que je pouvais approcher la capacité de savoir de la nature en étudiant comment les humains savent.

Descartes ne pouvait placer qu'une seule chose au-delà du doute, nommément sa propre existence en tant que sujet pensant. « Je pense, donc je suis », avait-il écrit. Cette prise de position prudente m'inspirait à me centrer sur ce que je savais.

Je me pensais comme un organisme. Le mot vient du grec *organon*, lequel veut dire outil.

En tant qu'organisme, je suis une sorte d'outil. Et je possède des organes, qui sont aussi des espèces d'outil. Mon cœur

pompe, mes reins filtrent, mes mains saisissent et ressemblent à des outils. Mais cela veut-il dire que les humains sont des machines ?

Descartes le pensait. Il décrivait le corps humain comme une machine constituée d'éléments mécaniques distincts. Il comparait les nerfs, les muscles et les tendons à une tuyauterie en caoutchouc. Écrivant au dix-septième siècle, il comparait les poumons à des moulins à vent et décrivait le système nerveux comme un réseau de fils fins qui ont leur origine dans le cerveau et s'étendent à tout le reste du corps. Dans son *Traité de l'homme*, il a écrit : « ... toutes les fonctions que j'ai attribuées à cette machine, comme la digestion des viandes, le battement du cœur et des artères, la nourriture et la croissance des membres, la respiration, la veille et le sommeil ; la réception de la lumière, des sons, des odeurs, des goûts, de la chaleur, et de telles autres qualités, dans les organes des sens extérieurs ; l'impression de leurs idées dans l'organe du sens commun et de l'imagination, la rétention ou l'empreinte de ces idées dans la mémoire... suivent toutes naturellement, en cette machine, de la seule disposition de ses organes, ni plus ni moins que ce que font les mouvements d'une horloge, ou autre automate, de celle de ses contrepoids et de ses roues ».

Je retournais cela dans ma tête et j'allais courir dans les bois à proximité de chez moi. Les couleurs automnales, jaunes et rouges, se mêlaient à la verdure. Je me visualisais comme une sorte de machine – une machine-papillon se déplaçant à travers le paysage, percevant des couleurs par l'intermédiaire de ses yeux. Je sautais par-dessus troncs et branches tombés en travers du chemin. Je savais que mes yeux avaient moins de photorécepteurs que ceux des papillons, mais je voyais suffisamment bien pour me déplacer à travers la forêt sans tomber. À ma connaissance, aucune machine fabriquée par l'homme n'est encore capable de faire cela.

Depuis Descartes, la perspective mécaniste sur les êtres vivants, y compris les humains, a joui d'une grande popularité

parmi les scientifiques et les philosophes. Mais les êtres vivants diffèrent fondamentalement des inventions mécaniques réalisées à ce jour. Nous pouvons nous reproduire, et nous pouvons croître et nous transformer – tandis que les ordinateurs, les grille-pain et les automobiles en sont incapables. Lorsque l'ovule et le sperme de mes parents ont fusionné, ils ont formé une cellule unique. Cet œuf fertilisé a pris progressivement la forme d'un embryon humain au cours d'une série de duplications, d'abord en cellules indifférenciées et non spécialisées, ensuite en cellules aussi diverses que les neurones, les cellules du sang et de l'épiderme. Tandis que mon embryon se transformait de la sorte, j'arrivais à la vie, transformateur dès les origines. Maintenant, des décennies plus tard, mon corps continue à réparer ses blessures et augmente encore sa résistance par l'usage que j'en fais. En tout cela je suis semblable à d'innombrables autres organismes et différent de la majorité écrasante des machines inventées par l'être humain.

Oui, il est vrai que les humains commencent à concevoir des technologies qui imitent les voies de la nature. Mais pour l'instant, parmi tous les objets fabriqués à partir d'alliages de métaux, de silicone, de plastique ou de caoutchouc, rien n'équivaut vraiment à des êtres vivants constitués de cellules vivantes. Chaque cellule individuelle d'un corps vivant est vivante. Les cellules vivantes sont elles-mêmes des créatures soumises à un cycle de vie, et elles doivent veiller à leur survie en s'adaptant aux circonstances qu'elles rencontrent. Cet aspect vital de toutes les créatures biologiques manque aux machines telles que les ordinateurs, dont les particules élémentaires sont faites d'un matériau inerte.

Les ordinateurs peuvent bien dépasser largement les capacités humaines de traitement de données. Et maintenant ils peuvent aussi être dotés d'une « intelligence artificielle », ce qui signifie qu'ils peuvent être programmés pour exécuter des tâches qui, autrement, demanderaient de l'intelligence à un organisme vivant. Mais cela ne veut pas dire que les machines soient

vivantes au sens biologique. Cela signifie simplement qu'elles peuvent être conçues aux fins de déployer certaines caractéristiques généralement associées au vivant.

Certains programmes d'ordinateur peuvent générer des entités informationnelles qui se reproduisent, évoluent et mutent, tout en rivalisant entre elles. Cette forme d'« intelligence artificielle » fonctionne de façon comparable à des organismes vivants. Mais les programmes d'ordinateurs écrits en séquences de uns et de zéros (représentant respectivement la mise sous tension ou hors tension du circuit) sont incapables de se déplacer et de se nourrir dans le monde matériel, et ne sont en rien l'équivalent d'êtres vivants tels que les bactéries, les oiseaux ou les êtres humains.

Je ne sais pas si les machines savent, mais moi, j'ai l'impression de savoir. Comment le savoir me vient-il ? Il me semble que la partie de moi qui sait est logée dans ma tête, derrière mes yeux, légèrement au-dessus du niveau des narines. Et la science contemporaine confirme qu'une grande partie du savoir humain – dont l'expérience, la sensation et la pensée – est relayée par notre cerveau.

Le cerveau humain a la consistance d'une gelée. Selon certaines estimations, il contient quelque cent milliards de cellules nerveuses, ou neurones. Chaque neurone peut former des milliers de liens avec d'autres neurones. Ce qui veut dire que le cerveau humain possède bien plus de connexions qu'il n'y a d'étoiles dans notre galaxie. Comment un réseau si complexe peut-il prendre forme dans un organisme qui trouve son origine dans une cellule unique ? Voilà qui défie notre compréhension actuelle.

Les scientifiques estiment qu'un millimètre cube du cortex cérébral – un volume suffisamment petit pour tenir dans ce « o » – contient plus de trois kilomètres de filaments neuronaux (appelés « axones »). J'ai essayé de visualiser cela dans ma tête, mais l'entreprise échouait systématiquement. J'ai trouvé que cette difficulté était aggravée par le fait de savoir que j'utilisais

mon propre cerveau pour envisager la chose. Conduire une enquête au moyen de l'objet même de l'enquête peut être retors. Lorsqu'il se pense lui-même, le cerveau humain risque de rencontrer des difficultés.

Lorsque je regarde le monde alentour, je vois des images tridimensionnelles en couleurs accompagnées de sensations – sons, saveurs, odeurs, impressions tactiles. Ces images semblent se situer à l'extérieur de ma tête, mais en fait, elles sont une reconstruction opérée par mon cerveau. Comment ces images peuvent-elles émerger de la matière gélatineuse qui constitue mon cerveau ? Comment se forment-elles à l'intérieur de cette gelée gris rosâtre ? Le mystère n'est pas nouveau, et demeure à ce jour non résolu.

Depuis les années 1990, les scientifiques ont recueilli des quantités de nouvelles informations sur le cerveau et le fonctionnement de l'intelligence humaine grâce à des innovations dans les techniques d'imagerie cérébrale. En utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, les scientifiques peuvent maintenant scruter l'intérieur du cerveau pensant et sentant, et le voir en action. Les scanners magnétiques permettent de révéler un afflux de flot sanguin riche en oxygène dans telle ou telle partie du cerveau engagée dans une tâche spécifique. Il suffit au chercheur de placer quelques personnes dans le scanner en leur demandant de penser à une idée ou de se comporter d'une certaine manière. Après avoir soustrait les zones du cerveau impliquées dans les fonctions de base, la machine montre sur l'écran, sous forme d'éclaboussures de lumière, les parties du cerveau engagées dans la tâche proposée. Les neurones impliqués dans l'identification de la couleur rouge, dans la reconnaissance d'un visage, dans l'addition d'une somme, dans le fait de classer des pommes dans l'espèce fruits s'allument sur l'écran comme par magie. Ce type de recherche a conduit à mieux comprendre l'organisation spatiale du cerveau. Des chercheurs ont ainsi montré, par exemple, que les enfants qui apprennent une deuxième langue

utilisent, en parlant l'une ou l'autre, des zones du cerveau qui se recouvrent partiellement, alors que les personnes qui apprennent l'autre langue après l'âge de onze ans utilisent une partie distinctive de leur cerveau pour ce deuxième langage. Et cela est avéré pour des Chinois apprenant l'anglais comme pour des Italiens apprenant l'hindi.

L'imagerie cérébrale montre que la quasi-entièreté du cerveau est active à un moment ou à un autre de la journée. Bien que, pour certaines fonctions, l'activité de petites parties du cerveau soit suffisante, les comportements ou les modalités de pensée plus complexes utilisent plusieurs zones cérébrales différentes. Se remémorer un paysage alpin active un certain circuit, tandis que penser à un chat en actionne un, tout autre. Une fois la pensée terminée, tous les neurones activés reviennent au silence. L'imagerie cérébrale révèle que chaque pensée différente allume des neurones selon une configuration spécifique qui lui est propre.

Toutefois, si stupéfiants que soient ces résultats, les images montrant des éclaboussures de lumière sur un écran n'expliquent pas comment le cerveau fonctionne. Le simple fait que certains neurones soient corrélés à un comportement ne signifie pas qu'ils le provoquent. Un afflux sanguin accru dans une partie spécifique du cerveau, comme le révèle le scanner magnétique, indique seulement que les neurones actifs, qui ont besoin d'énergie supplémentaire pour faire leur boulot, tirent du sang à partir du glucose et de l'oxygène. Mais cela n'explique pas comment nous appréhendons ce dont nous faisons l'expérience. Le fait que vos neurones utilisent du glucose et de l'oxygène n'explique pas comment vous voyez l'image formée par les mots sur cette page.

En observant des personnes atteintes de lésions cérébrales localisées, les scientifiques savent depuis longtemps que le cerveau humain est divisé en modules accomplissant des tâches distinctes. La partie du cerveau qui voit, entend et pense, est

souvent associée à la couche supérieure du cerveau appelée cortex cérébral : cette partie inclut les lobes frontaux, impliqués dans la planification et l'évaluation des risques, et le cortex visuel à l'arrière de la tête, qui traite l'information visuelle. Avec l'imagerie cérébrale, la recherche récente a confirmé l'existence de cette organisation modulaire, en montrant que des groupes précis de cellules cérébrales, parfois étonnamment petits, œuvrent simultanément à l'exécution de fonctions hautement spécialisées.

L'imagerie cérébrale a également révélé l'importance des couches plus profondes du cerveau, connues sous le nom de cerveau « émotionnel ». Une grande partie de l'information entrante, y compris ce que nous voyons avec nos yeux, est initialement traitée par cette partie du cerveau avant d'être relayée aux niveaux supérieurs. L'information visuelle, par exemple, atteint d'abord une petite grappe de neurones au centre du cerveau appelée thalamus, puis plus bas l'amygdale, une petite structure en forme d'amande qui semble générer le sentiment de peur instinctive. L'information est aussi transmise du thalamus au cortex, mais par une voie plus longue et plus lente. Cette organisation explique que nous répondions parfois à des dangers potentiels avant même d'être tout à fait conscients de ce qu'ils représentent. Nous avons, par exemple, un mouvement de recul devant un serpent surgissant sur un sentier forestier avant de le voir consciemment, parce que notre cerveau émotionnel pousse notre corps à l'action. Cette capacité à réagir rapidement n'est pas toujours très précise – il se peut parfois que le serpent ne soit qu'un simple bâton –, mais procure des avantages évidents pour la survie. Dans une certaine mesure, nous sommes « câblés » pour la survie.

L'imagerie cérébrale magnétique révèle également que nos perceptions conscientes sont liées à une sorte d'enregistrement neuronal en différé. Par exemple, les zones de notre cerveau impliquées dans la reconnaissance d'objets atteignent un pic

d'activité avant que nous n'ayons consciemment reconnu ces derniers. Le cerveau humain semble construire la perception consciente sur le mode de l'après-coup. Les gens perçoivent les événements environ quatre-vingts millièmes de secondes après leur survenue, un temps un peu plus long qu'il n'en faut au clignement d'un œil. Le cerveau semble utiliser ce temps pour exécuter d'étonnantes manœuvres de synthèse. Quand je claque mes doigts, par exemple, la vision et le son du claquement sont traités par différentes parties du cerveau et à des vitesses tout à fait diverses, qui, pourtant, me semblent simultanées. Je ne suis jamais conscient de ce qui se passe maintenant dans mon cerveau, mais seulement d'une petite partie de ce qui vient de s'y passer.

En outre, le cerveau ne se limite pas au crâne. Mon intestin à lui seul contient une centaine de millions de neurones capables d'apprendre, de mémoriser et de répondre aux émotions, tout comme le cerveau dans ma tête, bien plus grand. Ces neurones forment des tissus qui tapissent l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle et le côlon. Le cerveau abdominal et le cerveau principal sont interconnectés et travaillent ensemble. Mon corps dans sa totalité envoie un flux constant de signaux à mon cerveau, ce qui influence largement mon expérience du monde. Ma connaissance du monde vient à moi via l'information que je reçois de mes sens et les expériences de mon corps. Mon corps se déplace dans le monde et vérifie ce que je pense savoir.

Le corps d'une personne sait parfois des choses avant qu'elle-même le sache. Lors d'une expérience contrôlée, des chercheurs ont demandé à des gens de tirer des cartes dans quatre jeux, dont deux fortement chargés de pénalités. Les mesures de la peau ont montré que les gens qui regardaient les « mauvais » jeux de cartes commençaient à transpirer plus abondamment avant de pouvoir verbaliser leur intuition sur ceux qu'il fallait éviter. Cette recherche montre que les émotions sont un mélange d'états cérébraux et d'expériences corporelles, dont l'accélération du rythme cardiaque, l'activité hormonale et un apport de

données du cerveau abdominal. Elle montre aussi que le corps joue un rôle dans le processus du raisonnement. Sentir dans ses tripes n'est pas seulement une métaphore.

Nous considérons souvent les émotions comme des phénomènes mentaux, mais plusieurs d'entre elles ont besoin du corps pour s'exprimer. Les gens peuvent ressentir de la peur au creux de l'estomac, ou de l'amour dans le cœur. Et lorsqu'ils n'ont aucune sensation physique, ils ont de la peine à ressentir une émotion ; les personnes souffrant par exemple d'un « locked-in syndrome » (littéralement : syndrome de l'enfermement) – ce qui signifie qu'ils sont si totalement paralysés qu'ils ne peuvent plus communiquer que par mouvements des yeux – font preuve d'une absence de peur étonnante vis-à-vis de leur état. Pour le neurologue Antonio Damasio, c'est parce qu'ils ne peuvent en aucune manière utiliser leur corps comme « un théâtre de réalisation émotionnelle ».

Bien que le cerveau et le corps travaillent ensemble pour connaître le monde, le cerveau semble être l'organe clé utilisé par les humains pour articuler et emmagasiner leur savoir. Nos cerveaux abritent notre pensée et notre mémoire. Mais qu'est-ce que la pensée ? Et qu'est-ce que la mémoire ?

La plupart des théories actuelles disent que la mémoire à long terme est déterminée par la façon dont nos neurones se connectent les uns aux autres. Les connexions entre neurones sont appelées synapses. Une synapse est un intervalle, un petit espace, où les neurones échangent des substances chimiques appelées neurotransmetteurs. Lorsqu'il communique avec un voisin, le neurone déclenche une impulsion électrique qui atteint les synapses où elle provoque l'afflux d'atomes de calcium chargés ; cela entraîne une décharge des neurotransmetteurs, qui s'infiltrent via les synapses dans les neurones voisins, où ils déclenchent de nouvelles impulsions électriques. Des études récentes suggèrent que les synapses se fortifient et peuvent même se dupliquer lorsqu'elles sont souvent utilisées, tandis

qu'elles s'affaiblissent et perdent de leur efficacité de transmission quand elles sont inutilisées.

La recherche révèle également que les connexions entre neurones se modifient sous l'effet de l'apprentissage et de la mémoire, et cela, chez toutes les espèces pourvues de cerveaux, des escargots aux humains. Et pour exécuter ces modifications, les mêmes molécules sont utilisées par toutes les espèces. Les humains sont unis aux autres espèces jusqu'au câblage de leurs mémoires.

Plusieurs chercheurs croient maintenant que les souvenirs se forment et s'emmagasinent dans l'arrangement flexible des synapses du cerveau. Comme chaque neurone du cerveau humain peut avoir jusqu'à dix mille synapses, le cerveau dans son ensemble est capable de configurations pour ainsi dire illimitées. La mémoire semble être stockée dans la totalité du cortex cérébral, et se consolider à travers les changements synaptiques des réseaux neuronaux. Lorsque nos connexions synaptiques se renforcent parce que nous venons d'apprendre quelque chose, nos neurones activent leur ADN et synthétisent de nouvelles protéines. La science actuelle suggère, essentiellement en extrapolant à partir de la recherche sur des cerveaux de rats, que c'est bien ainsi que connaissances et mémoires se gravent dans nos circuits neuronaux. Il semble aussi que chaque fois qu'une mémoire ancienne nous revient, le cerveau la consolide en fabriquant de nouvelles protéines avant de la remettre en réserve. Un être humain peut faire l'expérience de cette consolidation, par exemple lorsqu'il apprend un texte par cœur, puis l'oublie, et par la répétition de ce cycle à plusieurs reprises, s'en souvenir finalement de façon quasi permanente.

La mémoire à court terme, qui ne dure pas plus d'une minute, ne semble pas requérir une synthèse de protéines. Barry Connors, un spécialiste en neurosciences, décrit la mémoire à court terme comme « un processus dynamique éphémère qui n'a pas encore donné lieu à une caractérisation moléculaire ».

On a récemment associé la mémoire à long terme non seulement avec la formation de nouvelles protéines, mais également avec celle de nouveaux neurones. Pendant très longtemps, les scientifiques ont cru que les cerveaux des animaux adultes ne pouvaient pas changer. Mais maintenant ils ont découvert que tous les animaux, y compris les humains, créent de nouveaux neurones tout au long de leur vie adulte. Et en étudiant le cerveau de rats adultes, des chercheurs ont trouvé que ces nouveaux neurones sont essentiels pour un type de mémoire au moins : la peur. La recherche indique également que l'acquisition de nouvelles connaissances renforce la capacité de survie des nouveaux neurones. Le fait d'apprendre rajeunit le cerveau, semblerait-il, que ce soit chez les rats ou chez les humains.

Les recherches récentes sur la mémoire ont donné lieu à d'importantes découvertes, mais ne peuvent expliquer comment les nouvelles protéines, les synapses renforcées et les nouveaux neurones sont associés à la réminiscence de souvenirs précis, tels par exemple le visage de Monna Lisa, ou une mélodie des Beatles, ou le nom de la capitale française.

Après tout, les protéines, les synapses et les neurones ne sont pas des images, des mélodies ou des noms, mais des composantes de la matière gélatineuse dont nos cerveaux sont constitués. Le mystère demeure quant à la manière dont la gelée cérébrale peut générer des constructions comme les images mentales. Néanmoins, il semble maintenant établi que des changements physiques dans le cerveau sont à la base d'aptitudes mentales telles l'apprentissage, la mémorisation et la connaissance.

Les scientifiques trouvent difficile de savoir comment le cerveau apprend. Pour le neuroscientifique Joaquín Fuster, l'information cognitive demande l'activation « de larges réseaux neuronaux du cortex cérébral, intriqués et interactifs » dans lesquels « chaque neurone cortical peut faire partie de nombreux réseaux, et par conséquent être affilié à de nombreux préceptes, souvenirs, objets d'expérience ou savoir personnel ». Et le

physiologiste Eilon Vaadia écrit : « Il est de source admise que de larges zones du cortex sont impliquées dans tout processus comportemental, et que ces zones contiennent plusieurs modules, chacun consistant en groupements cellulaires traitant une information spécifique. On pense souvent qu'une fois que le cerveau mûrit, chaque module et chaque cellule remplit une fonction spécifique. Mais les résultats de la recherche actuelle indiquent que cela pourrait ne pas être le cas. Au contraire, il est probable que chaque cellule participe à plusieurs processus différents. Le cerveau change aussi constamment, et les effets de chaque cellule peuvent être rapidement modifiés. Il est donc essentiel d'étudier un grand nombre de neurones simultanément pour comprendre comment les cellules communiquent et de quelle manière les interactions neuronales se modifient en relation à l'apprentissage et au comportement. »

Le cerveau est malléable par nature, autrement nous ne pourrions ni apprendre ni savoir. Il engendre ses circuits de diverses manières selon les expériences que nous avons et les savoir-faire que nous acquérons. L'imagerie cérébrale de musiciens jouant des instruments à cordes, par exemple, montre que la partie du cortex qui contrôle le doigté de la main qui joue est plus importante que celle qui gouverne l'autre main, et ce sont les doigts les plus utilisés qui prennent le plus d'espace. Il apparaît également de plus en plus certain que le cerveau est capable de se reconfigurer lors de lésions. L'imagerie cérébrale montre que les personnes qui ont retrouvé l'usage d'un membre après une attaque du centre cérébral moteur ont appris à utiliser de manière coordonnée plusieurs parties distinctes de leur cerveau pour compenser l'inactivité de la zone lésée. Et les enfants dyslexiques peuvent apprendre, en entendant les sons lentement et plusieurs fois, à modifier la configuration de leur cerveau et à utiliser des zones différentes pour le traitement du langage. Certaines personnes sont même capables de s'exercer en vue de récupérer d'une paraplégie, parce qu'une pratique lente et patiente permet à de

nouvelles parties de leur cerveau d'apprendre à effectuer des tâches qui ne sont plus accomplies par les régions lésées.

Nos cerveaux sont construits pour absorber le savoir, et pour changer. Nos cerveaux sont des transformateurs.

Descartes soulignait que la connaissance du monde implique un sujet à la première personne du singulier. *Je* pense, donc *je* suis. La connaissance et le moi vont de pair.

Mais savoir en toute certitude que j'existe en tant que penseur de pensée ne dit pas grand-chose sur la nature du « je ». Et depuis Descartes, personne n'a réussi à expliquer comment un conglomerat de cellules devient un « moi ».

Avoir un moi correspond à l'expérience humaine la plus élémentaire. Nous nous référons à nous-mêmes en tant que « je » ou « moi », et ne mettons pas en doute notre existence comme telle. Pourtant, pour certains philosophes et neuroscientifiques, le « moi » unitaire est en fait une illusion concoctée par nos cerveaux. Ils justifient cette position en notant que la recherche n'a pas pu révéler un point central du cerveau où le moi existerait. Dans cette perspective, nous sommes au mieux un paquet de divers « je » associés à plusieurs configurations différentes. Le moi unitaire serait une « chimère », une entité « dépourvue de nature en soi ». Selon cette vue, le sentiment que j'ai d'être un moi distinct n'est en fait qu'une série de systèmes formés par des milliards de neurones qui ne font que s'éprouver comme un moi.

Le philosophe Colin McGinn fait remarquer que cet argument « présume que nous en savons plus sur le cerveau et le moi que nous n'en savons réellement. Notre connaissance actuelle du cerveau ne révèle en effet aucun principe physiologique unificateur correspondant à l'idée d'un moi unique, mais cela pourrait aussi être interprété comme indiquant les limites de nos connaissances actuelles, et non l'absence démontrée d'un moi unifié ». Il semble donc un peu précipité de conclure que nous-mêmes, nous n'existons pas.

Je ne doute pas que j'existe. Assis, en train de taper ces mots,

j'observe mes doigts se déplacer sur le clavier, je sais que je suis quelque part à l'intérieur de mon corps. Depuis que j'ai commencé à écrire ce livre, j'en ai choisi les mots. Je peux les entendre résonner dans ma tête avant que mes mains les écrivent. J'ai conduit tout du long cette enquête à partir de mon propre point de vue. Et vous, lecteur, quand vous lisez ces mots, vous savez que vous êtes en train de les lire. Cela ne change pourtant rien au fait que nous ignorons encore quelle est la nature réelle du moi.

Le problème pourrait provenir d'une confusion de niveaux. Le cerveau est l'étagage physique de la conscience, mais il ne faudrait pas confondre les deux.

Un cerveau sain aide certainement à avoir un sens complet du moi. Les personnes ayant subi des lésions cérébrales peuvent perdre leur sens du moi, ou avoir l'impression qu'elles sont dans un corps qui n'est pas le leur, ou encore, croire qu'elles sont plusieurs personnes en même temps. Mais cela ne dissipe en rien le mystère. Même si la plupart des gens bénéficiant d'un cerveau sain sont convaincus d'avoir un moi, personne ne sait au juste ce que cela signifie.

Jusqu'à présent, on pourrait – si le but était d'atteindre la Lune – comparer les progrès des neurosciences à la réalisation des frères Wright qui réalisèrent le premier véritable vol en avion. Quand Orville Wright décolla pour la première fois en 1903, il vola sur une distance de quelque quarante mètres. Il fallut encore attendre soixante-six ans pour que les humains atteignent la Lune. La recherche sur le cerveau et l'intellect en est encore à ses balbutiements.

Avec sa matière gélatineuse et la malléabilité extrême de son fonctionnement, le cerveau ne peut être comparé à aucune autre machine connue. L'activité des neurones, telle qu'on la comprend actuellement, n'explique pas comment nous voyons des images dans notre tête. Nous ne savons ni qui nous sommes en tant qu'êtres capables de savoir, ni comment le mystérieux sens du moi émerge dans un organisme biologique. La compré-

hension de notre aptitude humaine à savoir n'en est qu'à ses débuts. Pour le moment, personne ne comprend vraiment comment l'intellect et la connaissance surgissent de la matière grise et gélatineuse contenue dans nos crânes.

CHAPITRE 11

Chi-sei et la capacité de savoir de la nature

La nature utilise des signes dont beaucoup échappent à nos yeux. Un signe est là pour représenter quelque chose d'autre. Les molécules d'ADN et d'ARN contenues dans les cellules vivantes peuvent avoir diverses fonctions, dont l'une est de représenter la séquence d'acides aminés dans les protéines. Les signes d'ADN et d'ARN véhiculent de l'information d'après un système arbitraire dans lequel chaque « mot » a trois « lettres ». L'étude scientifique des signes dans la nature en est à ses débuts.

Les chamanes disent depuis longtemps que la nature utilise des signes et communique. Leur manière de voir pourrait améliorer la compréhension qu'ont les scientifiques de la nature.

Les cellules individuelles communiquent en utilisant des signaux de protéines et d'autres molécules pour se transmettre mutuellement de l'information. Les plantes communiquent au moyen de substances chimiques volatiles, alors que les papillons emploient des signaux ultraviolets, et les dauphins des fréquences sonores sous-marines. Les humains communiquent par le langage. Les plantes et les dauphins ne peuvent pas parler notre langue, et nous avons de la peine à communiquer avec eux. Mais cela ne devrait pas nous empêcher de reconnaître que la plupart des êtres vivants passent beaucoup de temps à communiquer. Des informations d'un type ou d'un autre ne cessent de circuler dans la nature, en particulier sous forme de molécules biochimiques. Le monde ruisselle de signes.

Il n'y a pas si longtemps, certains considéraient l'usage des signes comme une activité spécifiquement humaine. Définir la spécificité humaine en établissant une liste de traits exclusivement humains s'est toutefois révélé une entreprise difficile : en effet, il peut arriver qu'une personne soit dépourvue d'une caractéristique donnée, ou encore, que des membres d'autres espèces la possèdent. Les populations de cultures occidentales ont été obsédées par la différence entre humains et animaux. Mais les humains sont des animaux, et nos capacités proviennent d'un passé que nous partageons avec d'autres espèces. Alors, pourquoi nous considérer comme entièrement séparés d'eux ? Pourquoi cette obsession à rechercher la spécificité humaine ?

Le sémioticien japonais Yoshimi Kawade écrivait en 1998 : « Pour un Occidental, il y a une nette ligne de démarcation entre les humains et le reste du monde (ainsi d'ailleurs qu'entre les humains et Dieu) ; pour les Japonais, la limite est bien moins clairement établie, spécialement entre humains et animaux... La pensée occidentale accepte difficilement que les animaux aient un intellect (*mind*) en propre, tandis que pour un Japonais, il est difficile de ne pas l'admettre. »

Mais cette distinction s'est depuis lors atténuée. Et des scientifiques occidentaux ont généré récemment une montagne de données qui démontrent que les humains ont une parenté avec les autres espèces vivantes. Il se peut toutefois qu'il manque encore aux Occidentaux la volonté d'accepter les conséquences de cette parenté. Et les langues occidentales manquent peut-être de concepts appropriés pour se pencher sur la question.

Je me suis lancé dans cette investigation en cherchant à comprendre « l'intelligence dans la nature », mais progressivement, j'ai réalisé que le mot *intelligence* revêtait tant de significations diverses que la tentative de le définir semblait stupide. Au Japon, je me suis rendu compte que le mot japonais *chi-sei*, qui signifie capacité de savoir ou de reconnaître, fournissait une alternative viable.

En anglais, *savoir* et *reconnaître* sont apparentés. Le verbe

savoir – *to know* – vient du vieil anglais *cnawan*, qui signifie « reconnaître, identifier ». Sa première définition dans le *Webster's Dictionary* est – traduite en français – « saisir de manière immédiate avec l'intellect ou les sens : percevoir directement : avoir une cognition claire ». Les myxomycètes dans un labyrinthe démontrent une capacité de jauger leur situation et d'agir en conséquence. Ils sont à même d'inclure diverses variables du monde qui les entoure et de prendre une décision qui accroît leurs chances de survie. Ils font preuve de *chi-sei*. Mais cela veut-il dire qu'ils ont une capacité de *savoir* ou de *reconnaître* ?

En français, ces deux mots posent problème, puisqu'ils sont avant tout définis en des termes qui se centrent sur l'humain. D'après *Le Petit Robert*, *savoir* veut d'abord dire « appréhender par l'esprit ; avoir présent à l'esprit (un objet de pensée qu'on identifie et qu'on tient pour réel) ; pour affirmer l'existence de ». Et le premier sens de *reconnaître* est : « saisir (un objet) par la pensée, en reliant entre elles des images, des perceptions ; identifier par la mémoire, le jugement ou l'action ; penser (un objet présent) comme ayant déjà été saisi par la pensée ». Ces définitions ne correspondent pas à ce que j'avais en tête concernant le *chi-sei* du monde naturel. En anglais, *to know* fait l'affaire ; mais ce n'est pas le cas, en français, avec le verbe *savoir*.

Pour traduire *chi-sei*, j'ai considéré le mot *know-how* (d'origine anglaise, mais officiellement accepté en français), qui signifie « savoir-faire ». Mais il véhicule la notion de « connaissances techniques particulières ». Encore une fois, il s'agissait d'un sens trop centré sur la réalité humaine. J'ai aussi essayé *appréhension* et *compréhension*, mais ni l'un ni l'autre n'atteint la cible. *Appréhension* signifie « fait de saisir par l'esprit ; opération par laquelle l'esprit atteint un objet de pensée simple ». Et le mot *compréhension* est tout aussi chargé. Sa première signification est « faculté de comprendre, d'embrasser par la pensée ».

Je n'ai pas trouvé de mot français équivalent à *chi-sei* qui puisse s'appliquer de manière neutre à d'autres espèces. Intelligence, conscience, et compréhension étaient tous définis en

termes humains. Le verbe *saisir* s'approchait un peu d'une solution. Dans son quatrième sens, il signifie « se mettre en mesure de comprendre, de connaître (qqch.) par les sens, par la raison ». Et *jauger* était également utilisable, même s'il signifie surtout « mesurer ». En français, il y a un manque de mots neutres correspondant à l'anglais *to know* et au japonais *chi-sei*. Confronté à l'absence de mot adéquat, j'ai décidé d'importer *chi-sei* dans le sens « capacité de savoir, saisir, ou jauger ». Oui, un import japonais.

Alors que je discutais intelligence et *chi-sei* avec Valerie Stone, une amie américaine qui est neuroscientifique, celle-ci m'a encouragé à orienter ma pensée dans une nouvelle direction et à considérer la notion de *chi-sei* en la mettant en contraste avec l'opération d'un thermostat, par exemple. Ce dispositif, qui enclenche le chauffage quand il fait trop froid et le déclenche quand il fait trop chaud, est équipé de senseurs qui détectent la température, et d'un câblage interne qui contrôle son « comportement » et ses « décisions ». Si l'on se fonde sur une définition simple de l'intelligence tel le fait de prendre des décisions appropriées, un thermostat semble faire preuve d'« intelligence », me dit-elle. Et comme un thermostat semble appréhender son environnement immédiat et agir en conséquence, il semble avoir aussi une forme de *chi-sei*, ou capacité de savoir. Mais l'attribution de telles qualités à un dispositif inanimé repose sur un raisonnement fallacieux. Si le thermostat interagit avec son environnement, c'est uniquement parce qu'un humain l'a programmé à le faire. Il ne peut pas réellement résoudre par lui-même des problèmes tels que « trop chaud » ou « trop froid ». Derrière l'apparente « intelligence » ou « capacité de savoir » d'un thermostat, il y a l'intelligence et le savoir humains.

Il existe une différence supplémentaire entre ce que les myxomycètes et les abeilles font, et ce que fait un thermostat. Valerie Stone faisait remarquer que les thermostats modifient leur comportement selon un mécanisme très simple qui ne varie jamais, alors

qu'un organisme vivant agit avec flexibilité. Le comportement des myxomycètes est intéressant, disait-elle, car ils sont à même de résoudre de *nouveaux* problèmes, en utilisant une méthode d'évaluation que nous ne comprenons pas encore. Cette méthode d'évaluation est bien plus complexe que celle d'un thermostat, et fait preuve de beaucoup plus de souplesse. Et le système visuel d'un papillon permet de résoudre le problème de la constance des couleurs, même dans de nouvelles conditions d'éclairage. Les formes vivantes sont dotées d'une capacité de savoir créative, alors que les thermostats tendent à ne rien faire de nouveau.

Le *chi-sei* et la flexibilité qui l'accompagne exigent la capacité de traiter de l'information. Pour Toshiyuki Nakagaki, le chercheur qui a montré que les myxomycètes pouvaient résoudre des labyrinthes et qui m'a introduit au concept de *chi-sei* : « Le cerveau est un objet intéressant en ce sens qu'il est un excellent ordinateur, mais que nous ne savons pas comment il fonctionne. Et nous ne savons pas non plus comment des micro-organismes dépourvus de cerveau gèrent le traitement de l'information. En fait, ce que nous ignorons vraiment, c'est jusqu'où va la capacité d'un micro-organisme à traiter l'information. »

Les scientifiques ont commencé à étudier le traitement de l'information chez des organismes multicellulaires dépourvus de cerveau comme les plantes. Les cellules végétales se transmettent mutuellement de l'information au moyen de signaux, par exemple des atomes chargés de calcium. Nos neurones font de même. Les cellules des plantes ont également leurs propres signaux particuliers, qui tendent à être des protéines et des filaments relativement longs d'ARN. Ces molécules se déplacent à l'intérieur de la plante en fournissant de l'information d'une cellule à l'autre. Les cellules individuelles des plantes semblent également être dotées d'une capacité de savoir.

Les cafards aussi. La recherche montre que ces insectes détectent l'arrivée de prédateurs en percevant d'infimes mouvements de l'air, et qu'ils ont des neurones dans leurs cerveaux qui

s'activent à une fréquence qui varie avec le vent. Comme les mouvements de l'air changent à l'approche d'un prédateur, cette capacité de perception permet aux cafards de pressentir d'où vient l'attaque et de se sauver rapidement pour éviter de se faire manger.

Pour le cafard, le monde n'est pas prédéterminé ou défini à l'avance. Il peut percevoir le monde et y agir, et sa perception est inséparable de ses capacités sensori-motrices. Il *sait* parce qu'il est *informé* par son corps et son cerveau de l'approche de prédateurs, et il *concrétise l'action* en se sauvant. Ce processus n'est pas un simple réflexe. Le système nerveux du cafard décrypte la dynamique d'infimes mouvements de l'air et déclenche une action préventive avec l'ensemble de son organisme. Le simple fait d'être un cafard et de se débrouiller dans le monde de façon à y rester en vie requiert du *chi-sei*.

Des organismes simples peuvent calculer. Mais le savoir est plus qu'une simple affaire de calcul. Les ordinateurs sont meilleurs en calcul, et même au jeu d'échecs, que les humains. Mais cela ne veut pas dire qu'ils aient du *chi-sei*. Les ordinateurs joueurs d'échecs avalent des montagnes de chiffres pour déterminer leur prochain coup. Mieux jouer aux échecs qu'un champion international n'exige pas de la machine une capacité de savoir – sinon pour les humains qui l'ont conçue et construite. Construire un instrument capable d'exécuter une tâche apparemment élémentaire, comme de contourner des obstacles, se révèle être beaucoup moins aisé que de concevoir une machine à calculer à même de jouer aux échecs à un niveau international.

On pourrait dire de machines, qui agissent à partir de leurs calculs et assurent leur propre entretien et leur survie quotidienne dans un environnement changeant, qu'elles sont dotées de *chi-sei*. Mais de telles machines, pour autant qu'elles existent, ne peuvent rien faire sans avoir été préalablement programmées. Et les machines ne sont pas non plus capables de concevoir et de construire des versions améliorées d'elles-mêmes.

Si les machines manquent de *chi-sei*, en revanche, les cellules de notre corps en sont bien pourvues. Nos cellules prennent constamment des décisions, en réponse à toutes sortes de facteurs électriques, chimiques et tactiles, afin de croître et de se différencier de manière coordonnée. Les cellules communiquent entre elles au moyen de « sentiers de signalisation », telles des cascades de protéines et une grande variété de signaux dont, par exemple, « reste en vie », « tue-toi », « libère cette molécule que tu as en réserve », « divise-toi » et « ne te divise pas ». Chaque cellule donnée peut recevoir à tout moment des centaines de signaux qu'elle doit intégrer avant d'agir.

Le corps humain est un édifice constitué d'environ une centaine de trillions de cellules qui communiquent entre elles par un échange de signaux chimiques. Les cellules humaines utilisent quelque onze mille sortes de protéines comme signaux. Elles communiquent grâce à un système de signalisation chimique dont le décodage par la science n'en est qu'à ses débuts.

Selon le biologiste Julian Downward : « Chaque cellule doit continuellement ressentir l'environnement qui l'entoure et prendre des décisions en se basant sur cette information. Les organismes unicellulaires doivent être à même d'évaluer les éléments nutritifs à proximité et de régler leurs processus métaboliques en conséquence. Les cellules d'organismes multicellulaires tels que les nôtres doivent sentir la présence de cellules et d'hormones voisines pour décider si elles doivent proliférer, se déplacer ou mourir. Tous ces processus nécessitent le transfert d'informations à partir de systèmes de détection appelés récepteurs, via des molécules intermédiaires à l'intérieur de la cellule, afin de provoquer des changements dans l'expression des gènes et l'activité des enzymes... Les cellules reçoivent en même temps les données de nombreux circuits de signalisation et doivent les interpréter ensemble, dans leur contexte mutuel, avant de prendre des décisions. Les modalités selon lesquelles les cellules font

cela, nous sont en partie connues, bien que, dans ce domaine, il reste beaucoup de travail à accomplir. »

Même les bactéries communiquent. Il s'avère que les diverses espèces de bactéries véhiculent de l'information entre elles dans une sorte d'« espéranto bactériologique », qu'elles utilisent pour travailler ensemble. Par exemple, quelque six cents espèces de bactéries forment chaque matin une sorte de pellicule biologique sur vos dents en se positionnant chaque fois exactement dans le même ordre. Les chercheurs supposent que pour faire cela, elles doivent être capables de se distinguer les unes des autres. Pour communiquer, les bactéries utilisent des substances chimiques plutôt que des mots, mais cela ne les empêche pas d'agir efficacement.

Certaines bactéries communiquent entre elles pour déterminer combien elles sont, et ne lancent une attaque que lorsqu'elles forment un groupe suffisamment important pour combattre le système immunitaire de leur hôte. Elles aiment se liguier à plusieurs contre leurs victimes.

D'autres sont particulièrement rusées. Quand une bactérie *Salmonella* approche pour la première fois une cellule hôte, elle produit au moins dix protéines, dont certaines finissent par pénétrer ladite cellule, où elles déclenchent des réactions en cascade. L'une de ces protéines active des régulateurs de protéines contrôlant la forme de la cellule hôte, ce qui provoque des troubles et des convulsions dans la membrane de la cellule hôte, laquelle engloutit toutes les *Salmonella* présentes. Une autre protéine de la bactérie désactive ces mêmes protéines régulatrices. La *Salmonella* pénètre par effraction dans les cellules, tel un bandit muni d'un troussseau de clés. Elle agit avec un *chi-sei* insolent, et elle peut aussi tuer.

Toutes les cellules sont constituées en grande partie de protéines. Si les cellules individuelles, dont les bactéries, ont une capacité de savoir, qu'en est-il des protéines ? Certains chercheurs sont de cet avis. Le biochimiste Christopher Miller écrit,

dans la revue *Nature* : « Les protéines sont des êtres intelligents. Elles ont évolué pour opérer dans le maelström métabolique d'un environnement cellulaire turbulent. Les facteurs de transcription doivent savoir quand activer des gènes ou quand les désactiver, et cette information leur est donnée au niveau cellulaire par certaines molécules de signalisation – lactose, acide rétinoïde, tryptophane ou cuivre, pour n'en mentionner que quelques-unes. Ainsi, les enzymes situés à des points de contrôle biologiques cruciaux doivent accélérer ou ralentir en fonction de demandes qui changent constamment, encodées dans des concentrés de métabolites cytoplasmiques de la vie. L'hémoglobine, grand-maman de toutes ces protéines "allostériques", sait quand vous êtes en train de dormir ou de courir, réalise si vous vivez au bord de la mer ou à Katmandou, et contrôle à tout moment si elle traverse vos poumons ou visite des tissus qui respirent vigoureusement ; elle établit ces jugements et ajuste en conséquence sa structure, et par conséquent le mode de transport de l'oxygène dans le sang, en ressentant des solutés cellulaires tels que CO_2 , H^+ , Cl^- , NO et biphosphoglycerate. »

Que les protéines soient ou non dotées d'une réelle capacité de savoir est, en fin de compte, une question d'opinion. Les protéines ne sont que des simples chaînes pliées d'acides aminés. À mon avis, elles se comportent comme si elles pouvaient jauger une grande variété de variables et agir en conséquence de manière appropriée et précise. Si elles ne le faisaient pas, nous ne serions pas en vie. Mais je reste ahuri lorsque je considère le *chi-sei* des protéines. Comment une chaîne d'acides aminés pourrait-elle savoir quoi que ce soit ? Les acides aminés sont des composés organiques simples contenant un groupement de carboxyle ($-\text{COOH}$) et un groupement aminé ($-\text{NH}_2$). Ils ne sont pas beaucoup plus qu'une configuration d'atomes. Et pourtant, les chercheurs rapportent que les protéines « reconnaissent » la structure moléculaire d'agents pathogènes spécifiques. Elles peuvent aussi « reconnaître » une lésion de l'ADN, lésion

qu'elles « réparent » ou, si celle-ci est trop importante, « donnent le signal » à la cellule de se détruire elle-même. L'ubiquitine, par exemple, est une protéine qui accomplit toutes sortes de fonctions, qui vont de la « dégradation de protéines défectueuses » et du « contrôle du trafic de protéines » à la « régulation de l'activité de l'ADN ». L'ubiquitine n'est pas un simple mécanisme. Elle connaît son chemin à travers les cellules. Mais comment cette protéine fonctionne-t-elle ? Voilà la question.

J'ai demandé à Thomas Ward, professeur de chimie dans une université suisse et spécialiste des protéines, s'il pensait que celles-ci possèdent une capacité de savoir. Il m'a répondu : « Une protéine peut se déplacer, tirant son énergie d'une source d'alimentation extérieure. Une protéine peut interagir avec celles de sa propre espèce, ainsi qu'avec des entités individuelles d'autres espèces, telles les molécules d'ADN et d'ARN. Une protéine peut utiliser d'autres entités pour construire un grand édifice, telle une cellule. Selon des recherches récentes, une protéine peut même se reproduire elle-même. Une protéine peut perdre toutes ses fonctions ou "mourir". La principale fonction des protéines est de reconnaître. Elles reconnaissent par exemple les molécules d'ARN, ou bien des virus, ou encore d'autres protéines. Puis, se basant sur cette reconnaissance, elles sont à même de prendre des mesures appropriées. Si c'est cela que vous entendez par "savoir", alors, pour moi, il est indéniable que les protéines ont la capacité de savoir. »

Quand j'ai entrepris cette enquête, je m'attendais à ce que les scientifiques considèrent avec méfiance mon intérêt pour l'« intelligence » de la nature. Mais il s'est avéré que tel n'était pas le cas. La science semble avoir évolué au cours de ces dernières années. Maintenant, rares sont les scientifiques qui décriront les protéines comme de stupides petits bouts de matière engagés dans des réactions automatiques. Trop d'éléments indiquent clairement qu'une capacité de savoir traverse l'édifice entier du

vivant. Des dizaines de milliers de chercheurs de pays différents étudient ces indications, et tentent de découvrir comment la nature sait. Ils étudient la communication des cellules entre elles ou la réparation d'ADN par des protéines-enzymes, la prise de décision des neurones, la résolution d'un labyrinthe par des myxomycètes, ou encore la capacité de la plante de cuscute à jauger son environnement. Les données ainsi générées sont un trésor de *chi-sei*.

Les scientifiques confirment maintenant ce que les chamanes disent depuis longtemps sur la nature de la nature.

Au cours de cette enquête, transformateurs et transformations ont surgi à tout bout de champ. Il me semble que c'est dans l'essence de la nature de se transformer, d'évoluer. En menant cette recherche, j'ai été moi-même transformé. Ma compréhension de la science a changé. Je pensais auparavant que les scientifiques étaient dogmatiques, spécialement quand il s'agissait de considérer les autres espèces comme autre chose que des machines. Au contraire, j'ai découvert que de nombreux chercheurs étudiaient la biologie avec une grande ouverture d'esprit.

J'ai aussi commencé à regarder les êtres vivants avec des yeux neufs. Le fait d'apprendre que les cellules des plantes s'envoient mutuellement des signaux similaires à ceux utilisés par mes propres neurones, que les plantes évaluent le monde qui les entoure et prennent les décisions appropriées, tous ces éléments m'ont conduit à considérer chaque plante, y compris les mauvaises herbes, avec un respect grandissant. Et maintenant, j'admire les myxomycètes, j'apprécie les nématodes, je crains la salmonelle et je respecte les cafards.

Et quand je roule en voiture en été et que des insectes s'écrasent contre le pare-brise, j'en sais trop.

Désormais, les autres espèces me semblent plus humaines, et les humains, plus naturels. Reconnaître que la capacité de savoir existe en dehors de l'humanité mène à une existence plus riche, plus aventureuse, plus confortable. Au lieu de dégrader

aveuglément la planète, nous pouvons voir que les prodigieux pouvoirs de la vie habitent chacun de ses habitants. Le *chi-sei* forme un continuum à travers le monde entier du vivant.

Toutefois, une différence semble exister entre les humains contemporains et d'autres espèces : nous autres humains accumulons nos connaissances à l'extérieur de nous-mêmes par des artefacts tels que des textes écrits, ce qui accélère grandement la transmission du savoir. Nous acquérons et transmettons des connaissances à une vitesse sans précédent. Ce qui nous a valu de dominer la plupart des autres espèces, domination dont nous abusons actuellement en épuisant la nature à un rythme insoutenable. Il nous reste encore à apprendre à contrôler notre nature de prédateurs.

Les jaguars donnent un exemple à cet égard. Ils se trouvent au sommet de la chaîne alimentaire amazonienne, et pourtant mènent des vies discrètes. En tant que top-prédateurs de la forêt pluviale, ils peuvent nager autant que grimper aux arbres avec facilité ; leurs proies vont des poissons, tortues et caïmans aux rongeurs, chevreuils et singes. Ces grands chats aux talents variés tuent fréquemment leur proie en lui perçant le crâne d'une seule morsure rapide. Leur nom vient du mot tupi-guarani *yaguára*, qui signifie « animal qui tue sa proie d'un bond ». Les jaguars n'ont pas de rivaux, outre les humains, mais ils tendent à se cacher. En fait, ils se déplacent si furtivement que les biologistes ont des difficultés pour les étudier. Ces prédateurs impeccables contrôlent leur pouvoir.

Les humains peuvent apprendre de la nature. Cela requiert de saisir la capacité de savoir du monde naturel. Nous sommes une jeune espèce, et nous commençons tout juste à comprendre.

NOTES

INTRODUCTION

p. 14 La méthode scientifique consiste à tester des hypothèses

Le biophysicien Jacques Dubochet déclarait en 1997 : « Ce qui me dérange dans l'affaire Narby, c'est que sa démarche va à l'encontre de ce que j'essaie d'inculquer à mes étudiants, et de ce que je m'efforce de pratiquer avec rigueur dans notre recherche. Lors des réunions hebdomadaires avec les doctorants qui collaborent à mes recherches, je ne cesse de me battre pour qu'ils testent leurs hypothèses. Je leur dis : "Vous devez faire le test qui détruira ce que vous essayez de mettre sur pied ; vous devez toujours essayer de réfuter l'hypothèse que vous venez de faire." C'est la fameuse méthode scientifique, qui remet en question les hypothèses. C'est une façon de travailler dure, pénible, très modeste dans son avance, et qui fait la rigueur et la difficulté de notre métier. Voici un exemple que nous vivons actuellement dans notre laboratoire. Notre équipe étudie les nœuds qui se forment sur le filament d'ADN ; notre travail nous a amené à formuler une idée apparemment fondamentale pour la théorie mathématique des nœuds. Selon cette idée, tout nœud peut être précisément défini par la longueur de la plus courte ficelle avec laquelle on peut le faire. C'est mon collègue Stasiak qui a émis cette hypothèse, alors que nous étudions quatre ou cinq nœuds d'ADN différents. Depuis lors, nous avons eu la confirmation de son hypothèse, avec une quinzaine d'autres nœuds. À partir de là, deux voies s'ouvrent à nous. D'une part, nous pourrions continuer à explorer les conséquences de l'idée, qui semblent passionnantes. Peut-être va-t-elle déboucher sur une méthode permettant de

dénouer n'importe quel nœud. Ou peut-être expliquera-t-elle comment certains systèmes tendent à s'auto-organiser vers un état plus ordonné. En poussant le bouchon encore plus loin, on peut même imaginer que cette idée puisse expliquer la formation du système solaire, le développement de la vie et l'émergence de l'esprit. Selon moi, c'est cette voie que Jeremy Narby a choisie et il s'y est lancé tête baissée. L'autre voie est plus ordinaire, moins spectaculaire ; elle consiste à chercher les limites de l'idée, à chercher les nœuds pour lesquels elle ne s'applique pas. Si celle-ci est toujours valable, après que nous eûmes essayé de la remettre en cause par tous les moyens imaginables, alors nous pourrions en étendre l'exploration avec bonne conscience. Voilà la voie de la science » (Dubochet *et al.*, 1997, pp. 25-26). Le travail de Dubochet et ses collègues sur les nœuds de l'ADN a été publié par Katritch *et al.* (1997).

p. 14 Trois biologistes travaillent avec un chamane indigène

Narby (2002) écrit, à propos de l'expérience des scientifiques avec un breuvage de plantes hallucinogène appelé ayahuasca : « Au cours d'entretiens conduits dans leurs laboratoires respectifs quatre mois après l'expérience amazonienne, les trois biologistes s'accordèrent sur un certain nombre de points. Tous trois dirent que l'expérience du chamanisme ayahuasca avait changé la perception qu'ils avaient d'eux-mêmes et du monde, ainsi que leur appréciation des capacités de l'esprit humain. Chacun, chacune exprima un profond respect à l'égard du talent et du savoir du chamane. Tous purent recueillir des informations et des conseils concernant leurs pistes de recherche respectives. Les deux femmes parlèrent du contact avec les "plantes qui enseignent", qu'elles perçurent comme des entités indépendantes ; toutes deux relevèrent que le contact avec une plante enseignante avait changé la manière dont elles appréhendaient la réalité. Le chercheur indiqua, pour sa part, que toutes les choses qu'il avait vues et apprises au cours de ses visions étaient, en quelque sorte, déjà dans son esprit, mais que l'ayahuasca l'avait aidé à y voir plus clair et à les assembler. Il n'estimait pas avoir communiqué avec une intelligence indépendante, mais croyait, en revanche, que l'ayahuasca était un puissant outil pour l'exploration de l'esprit. L'information scientifique et l'imagerie auxquelles les trois biologistes eurent accès pendant leurs

visions sous ayahuasca étaient certainement liées à l'information et aux images déjà présentes dans leur esprit. Ils n'eurent donc pas de grandes révélations. "L'ayahuasca ne constitue pas un raccourci vers le prix Nobel", releva le professeur français. Tous dirent que le chamanisme ayahuasca constitue un chemin plus ardu vers la connaissance que la science et que, en tant que scientifiques, il les confrontait à des difficultés spécifiques. L'accès au savoir sous influence de l'ayahuasca implique, notamment, une expérience subjective hautement émotionnelle, qui n'est pas reproductible. Il est impossible d'avoir la même expérience deux fois de suite, de même que personne d'autre ne peut partager l'expérience que l'on a soi-même, ce qui rend le processus quasiment opposé à la principale méthode de la science expérimentale, qui consiste à concevoir des expériences objectives pouvant être répétées par quiconque, en tout lieu et en tout temps » (pp. 320-321).

CHAPITRE PREMIER

p. 21 L'Amazonie péruvienne, épice centre de la biodiversité mondiale
Mittermeier *et al.* (1999) écrivent : « La région des Andes tropicales [...] est la plus riche en biodiversité de la Terre. Myers (1988) l'avait signalé dans sa première publication, où il se réfère à cette région comme l'"épice centre global de la biodiversité", et les analyses actuelles viennent conforter cette hypothèse. Le massif montagneux des Andes, ses diverses *cordillères*, et le vaste ensemble de coteaux, de sommets et de vallées isolées donnent lieu à une multitude de microhabitats, entraînant l'évolution d'un nombre incroyable d'espèces végétales et animales. Bien que dépourvue de mammifères de très grande taille comme on en trouve dans la savane africaine, cette région abrite un nombre inégalé d'espèces de taille petite et moyenne, et surpasse même la vaste plaine amazonienne, pourtant bien plus étendue, qui s'étire vers l'est à travers tout le continent. En outre, bien que certaines portions des Andes tropicales soient encore relativement peu touchées, les activités humaines ont très lourdement affecté la plus grande partie de la région, réduite désormais à de minuscules fragments de son étendue originelle. Cette combinaison de très grande diversité et d'endémisme pour toutes les catégories d'organismes,

conjuguée à un risque de dégradation très élevé, fait des Andes tropicales le point chaud par excellence, en plaçant cette région au sommet de la liste des priorités en matière de conservation de la biodiversité globale » (p. 69). Wilson (2002) écrit : « Le record pour les fourmis est de 365 espèces sur 10 hectares dans une zone forestière de Haute Amazonie péruvienne. J'en ai identifié 43 espèces sur un seul *arbre* dans la même région, ce qui équivaut à peu près à la totalité de la faune des fourmis pour l'ensemble des îles Britanniques » (p. 20). Terborgh (1999) écrit : « En tant que réservoir de biodiversité, le Parc national Manu est sans égal. Sa situation à la frange occidentale du bassin amazonien fait de lui l'épicentre de la biodiversité mondiale. La valeur biologique du parc est encore augmentée par l'envergure de son territoire, qui englobe la totalité de la ligne de partage des eaux du fleuve Manu et de ses affluents, et ce, depuis la crête de 4 000 mètres d'altitude des Andes orientales jusqu'aux profondeurs de la plaine. En couvrant un éventail si large de conditions environnementales, le Manu se distingue à juste titre comme contenant plus de biodiversité que n'importe quel autre parc dans le monde. En tête d'une litanie de superlatifs, une liste qui s'allonge constamment de presque 1 000 espèces d'oiseaux. (En comparaison, 650 espèces seulement sont recensées pour toute l'Amérique du Nord, au nord de Mexico.) En outre, plus de 200 espèces de mammifères, dont 13 espèces de primates, des jaguars, des pumas, des ocelots, des tapirs, des capybaras, des fourmiliers géants et des ours à lunettes, vivent à l'intérieur des limites du parc. Les reptiles et les amphibiens sont une autre démonstration prestigieuse de diversité. Chaque année, la liste des espèces recensées dans le parc s'allonge. La plaine du parc abrite presque 90 espèces de grenouilles et de crapauds, une quantité dépassée en un seul endroit de l'Équateur. La diversité des arbres dans les forêts du Manu se compte entre 150 et 200 espèces par hectare. En un mois seulement, une équipe d'experts en lépidoptères a documenté plus de 1 300 espèces de papillons en un seul lieu de la plaine. Et je pourrais continuer sans fin ces rodomontades, si d'autres classes d'organismes avaient été si bien inventoriées » (pp. 23, 25). *L'Environmental News Network* (2001) écrit : « Une région isolée de la forêt pluviale au nord-est du Pérou délimitée par trois grands fleuves [Ucayali, Amazone et Yavari] semble abriter plus d'espèces de mammifères que n'importe où

ailleurs sur la Terre. Les recensements de ces mammifères ont été publiés dans deux études séparées provenant de deux universités différentes et parues presque en même temps... Selon Valqui et Voss [les deux chercheurs ayant réalisé l'inventaire des mammifères de la région], l'extraordinaire biodiversité de cette région amazonienne tient à sa situation au cœur d'une vaste forêt pluviale ininterrompue. La poussée rapide des montagnes des Andes, il y a entre trois et huit millions d'années, a créé des arêtes qui isolaient les animaux, leur permettant d'évoluer en espèces distinctes. En outre, selon Valqui, l'eau qui descend des montagnes produit des sols plus riches en Amazonie occidentale, permettant des populations plus nombreuses de toutes les espèces et moins d'extinctions » (pp. 1-2). Gentry (1988) montre que l'on a répertorié jusqu'à 300 espèces d'arbres dans un seul hectare de forêt pluviale péruvienne. Il écrit : « Les deux lotissements de forêts humides près d'Iquitos, au Pérou, sont les plus riches en espèces du monde, avec grosso modo 300 espèces plus grandes ou égales à 10 cm de diamètre dans un seul hectare ; tous les lotissements péruviens font partie des plus riches en espèces jamais rencontrés. Contrairement à l'opinion courante, la forêt de Haute Amazonie, avec celles d'Afrique centrale peut-être, ont autant ou plus d'espèces d'arbres que des forêts asiatiques comparables » (p. 156). En comparaison, il existe environ 250 espèces d'arbres indigènes sur l'ensemble du continent européen.

p. 23 Manger la terre (« géophagie ») : une stratégie de détoxication

Des expériences contrôlées en laboratoire confirment les « stratégies de désintoxication » des aras. Les oiseaux nourris avec des alcaloïdes de plantes mélangés à de l'argile ont 60 % d'alcaloïdes de moins dans leur sang trois heures après ingestion, que les oiseaux nourris sans argile – voir Gilardi *et al.* (1999), qui montrent aussi que les aras choisissent entre plusieurs qualités d'argile. Ils écrivent : « [...] nous avons découvert que les sols préférés des perroquets au Pérou étaient généralement de texture homogène avec une composante de sable de moins de 5 %, ce qui tend à démontrer que les oiseaux ne mangent pas la terre pour améliorer les mécanismes de la digestion. Les perroquets choisissent de préférence des sols de texture fine avec une haute teneur en argile et une forte capacité d'échange de cations, et ils peuvent probablement mastiquer des aliments durs grâce à la

puissance et l'habileté de leur bec. En conséquence, on peut former d'autres hypothèses sur les fonctions de la géophagie chez les perroquets, lesquelles auraient plutôt trait à la structure et la fonction potentielle de l'argile elle-même » (pp. 912-913). Voir aussi Diamond (1999) et Engel (2002).

p. 25 Le rêve de Glenn Shepard

Voir Shepard (1998).

p. 29 Faux cris d'alarme des oiseaux sentinelles

Munn (1986b) écrit : « Le rôle de sentinelles a permis à *T. schistogynus* [le batara bleu-gris] et *L. versicolor* [le tangara versicolore] d'établir une nouvelle relation symbiotique avec d'autres membres de la volée. Les deux espèces de sentinelles dépendent pour plus du 85 % de leur alimentation de la capacité d'autres espèces de volée à débusquer des insectes. Il est rare qu'elles volent des arthropodes directement dans le bec d'autres oiseaux. Elles se tiennent plutôt au centre ou à proximité d'un groupe d'oiseaux d'une autre espèce qui se livrent activement au fourrage et s'envolent ou plongent sur des arthropodes tombés débusqués de leur cachette par l'espèce plus active. Quand un oiseau d'une autre espèce se met à poursuivre un arthropode qu'il a débusqué, il arrive souvent que la sentinelle, plus rapide et plus lesté dans son vol, attrape l'insecte la première. C'est pendant ces affrontements aériens d'oiseaux multiples que les deux espèces de sentinelles produisent le même cri d'alarme que celui qui est utilisé lorsqu'un faucon attaque ou vole à proximité. J'interprète ces cris comme de faux cris d'alarme, probablement utilisés par la sentinelle pour distraire les autres oiseaux et ainsi, augmenter ses chances de capturer lui-même l'arthropode. Ces joutes aériennes se terminent en moins d'une seconde, de sorte que la moindre hésitation de la part des autres oiseaux augmente la possibilité, pour la sentinelle, d'attraper l'arthropode la première. En utilisant les critères suivants, j'ai classifié 106 sur 718 cris d'alarme comme étant vrais ou faux : *vrais* si, simultanément, je voyais un oiseau du genre faucon voler à proximité ou si certaines espèces de la volée alarmaient subséquentement et s'immobilisaient pendant plusieurs minutes, et *faux* si la sentinelle piquait pour attraper un arthropode lâché en vol alors qu'en même temps, je voyais

clairement toute la zone dans une circonférence de 20 m de l'oiseau et pouvais ainsi éliminer la possibilité d'un faucon dans les parages. Les sentinelles restaient immobiles sur une perche relativement cachée lorsqu'elles donnaient une vraie alarme, alors qu'en donnant de fausses alarmes, elles volaient à découvert avec d'autres oiseaux en quête d'arthropodes débusqués » (p. 144). Dugatkin (1999) commente à propos des observations de Munn : « Aussi remarquable que soit cette histoire, les faux donneurs d'alarme ne sont pas si malins que ça. Quand elles émettent un vrai cri d'alarme, les sentinelles demeurent immobiles sur des perches partiellement cachées. Mais, quand elles en émettent un faux, les alarmistes volent à découvert – une situation à hauts risques, si jamais un prédateur était réellement dans les parages. Tout en étant assez intelligentes pour tromper les autres, elles n'ont pas réellement maîtrisé l'art de la chicane, car si elles l'avaient fait, elles ne se contenteraient pas de crier, mais agiraient à la manière des oiseaux effrayés lorsqu'un danger menace. Bien sûr, il est possible que la sélection naturelle n'ait pas favorisé cette ingéniosité dans l'action, puisqu'un simple cri fonctionne aussi bien. Et pourtant, ce fait en soi soulève une autre question sur la complexité cognitive : pourquoi les oiseaux qui ne cessent de se faire voler leur butin n'ont-ils pas encore compris que si l'alarmiste ne s'envole pas lui-même vers les collines, alors c'est sans doute qu'il fait semblant ? Nous ne savons tout simplement pas, et d'ailleurs, personne ne s'est encore jamais penché sur le problème » (p. 124). Munn (1986a) écrit : « S'il est possible que la connaissance des aléas du développement de l'usage des cris d'alarme chez les oiseaux sentinelles aide à clarifier le genre de pensée, si cela en est une, utilisée par l'oiseau quand il alarme, certains faits suggèrent qu'un certain degré de réflexion soit impliqué dans l'émission et la réception du cri d'alarme. Que l'émetteur pense à ce que l'alarme implique m'est suggéré par une circonstance dans laquelle un *Thamnomanes schistogynus* avait commencé à émettre une fausse alarme tout en fonçant sur un insecte lâché chassé par un autre oiseau, mais une fois qu'il était devenu évident que l'autre oiseau avait capturé l'insecte, le batara alarmiste avait immédiatement ajusté sa tonalité de son cri à des fréquences plus longues et plus rapides, donc non alarmantes, ce qui fonctionne alors comme cri de ralliement pour les autres oiseaux. L'oiseau avait apparemment réalisé que le cri d'alarme n'était

plus approprié et passé à un autre registre, plus serein, en pleine vocalisation. En outre, le fait que les deux espèces de sentinelles utilisent plus fréquemment les faux cris d'alarme quand elles nourrissent leurs oisillons suggère qu'elles "gardent" leur truc pour les situations où réellement elles ont désespérément besoin de nourriture supplémentaire. Le comportement des récepteurs laisse supposer qu'ils reconnaissent que l'une des significations potentielles du cri d'alarme est l'approche d'un prédateur. Ces oiseaux ne sont pas simplement effarouchés en entendant ce cri – au contraire, ils regardent souvent dans la direction d'où vient le cri. Cette réaction est particulièrement évidente quand des oiseaux qui sont déjà à couvert dans les ramures tournent rapidement la tête pour regarder en direction de l'alarme. Ce regard implique que les cris d'alarme sont plutôt interprétés comme signifiant "faucon" que "sursaute !" » (p. 174).

p. 30 Intelligence des corbeaux

Savage (1995) écrit : « Mais un simple cerveau d'oiseau peut-il vraiment venir à bout de ce défi intellectuel ? Comment des oiseaux peuvent-ils apprendre et mémoriser en l'absence d'un cortex cérébral élaboré ? Dans les années 1960, le neurologue Stanley Cobb trouva la réponse. Il découvrit que le cerveau aviaire est construit selon un plan bien particulier propre aux oiseaux. Au lieu de compter sur leur cortex, les oiseaux ont développé une autre partie du cerveau antérieur, l'hypers-triatum (qu'on ne trouve pas chez les mammifères), qui représente pour eux l'organe central de l'intelligence. Plus grand est l'hypers-triatum, meilleur le score des oiseaux aux tests d'intelligence. Les corbeaux, les corneilles et les pies se trouvent tous au sommet des deux échelles. Et, comme d'autres chercheurs l'ont depuis lors établi, les corvidés sont de tous les oiseaux ceux dont le cerveau a la plus grande taille. (Dans leur cas, la proportion corps-cerveau équivaut à celle des dauphins et elle est presque comparable à la nôtre.) En outre, leurs grands cerveaux sont remplis d'un nombre exceptionnellement élevé de cellules cérébrales » (p. 29). Skutch (1996) écrit : « On demande parfois aux ornithologues quels sont les oiseaux les plus intelligents. Ils répondent fréquemment que ce sont les corbeaux, les corneilles et autres oiseaux apparentés – les corvidés. Ces grands omnivores, agressifs et opportunistes, font preuve d'une large flexibi-

lité comportementale en ingérant des aliments aussi divers que fruits, insectes, petits vertébrés vivants, charognes, et bien d'autres choses. Quand on les retire du nid pour les élever avant que leur plumage ne soit achevé, ils s'attachent fortement à leurs parents adoptifs, considérant souvent la possibilité de s'accoupler avec l'un d'eux. Leur capacité d'apprivoisement fait d'eux de bons sujets pour les tests d'intelligence que des expérimentateurs leur font passer en laboratoire, auxquels ils obtiennent d'assez bons scores. Leur intelligence leur a valu d'être placés au sommet de l'arbre de l'évolution dans certains systèmes de classification plus anciens, bien que maintenant, dans la feuille de contrôle toute récente de *l'American Ornithologist's Union*, ils se placent en queue des oscines passereaux – les fringillidés, tisserins, et familles apparentées étant considérés supérieurs à eux. La grande difficulté d'établir une distinction nette entre un comportement appris et un comportement innovateur, d'une part, entre un comportement inné ou génétiquement déterminé, d'autre part, et la vaste diversité des styles de vie et de l'activité des oiseaux, rend impossible de décider parmi eux lesquels sont les plus intelligents » (pp. 120-121).

p. 30 Les cassenoix d'Amérique et leur mémoire des caches

Kamil et Balda (1985) écrivent : « Les cassenoix passent une quantité substantielle de temps et d'énergie à la fin de l'été et pendant l'automne à ramasser des graines de cônes de pins, en les transportant jusqu'à une distance de 22 km, puis enterrant les graines dans des milliers de caches discrètes. Lors d'une année de récolte abondante, un seul cassenoix d'Amérique peut accumuler entre 22 000 et 33 000 graines de pin, et un cassenoix eurasien, entre 86 000 et 100 000 graines. Ces graines sont ensuite récupérées au cours des 11 mois suivants et forment l'essentiel de l'alimentation pendant l'hiver et pendant la saison de nidification. Les nutriments et l'énergie issus des réserves de graines permettent au cassenoix de passer l'hiver et de nidifier tôt dans l'année dans un écosystème alpin rigoureux où les autres aliments sont rares voire inexistants. Les observations de terrain permettent de penser que les cassenoix retrouvent sans hésiter leurs caches jusqu'à 11 mois après les avoir établies » (pp. 95-96).

p. 30 Des geais à gorge blanche prévoyants

Emery et Clayton (2001) écrivent : « Ceci est la première démonstration expérimentale qu'un animal non humain peut se souvenir du contexte social d'événements spécifiques, et ajuster son comportement actuel pour éviter des conséquences potentiellement préjudiciables dans l'avenir, dans ce cas le chapardage. Pour accomplir cela, les geais à gorge blanche doivent avoir fait l'expérience de chaparder les caches d'un autre oiseau, mais n'ont pas besoin d'avoir observé d'autres membres de leur espèce cacher de la nourriture. Ils peuvent se souvenir d'événements passés spécifiques, mais ces résultats suggèrent qu'ils puissent également planifier pour l'avenir. Les geais semblent avoir transféré leurs expériences passées de chapardage à la situation présente dans laquelle leurs propres caches pourraient être chapardées. Ceci pourrait être un cas où un animal attribue la capacité de savoir à un autre individu de son espèce, et utilise cette connaissance pour influencer un comportement ultérieur (transfert de caches dans de nouveaux lieux), voire même pour user de tromperie tactique. On pensait que le voyage mental dans le temps (mémoire épisodique et planification de l'avenir) et l'attribution mentale étaient des traits spécifiquement humains. Le modèle de récupération des caches offre une nouvelle manière de considérer cette possibilité chez les animaux » (p. 445).

p. 30 Les pigeons peuvent distinguer Van Gogh de Chagall

Watanabe (2001) écrit : « Dans l'Expérience 1, les pigeons ont été entraînés à faire la différence entre des peintures de Van Gogh et de Chagall. Après l'entraînement, les sujets ont été testés avec d'autres peintures des mêmes artistes. Les sujets ont montré qu'ils étaient capables de généralisation dans l'appréhension de ces peintures. Les sujets conservaient leur capacité discriminatoire à l'égard de reproductions en noir et blanc et de peintures partiellement occultées. Quand on les testa avec des reproductions traitées sous forme de mosaïques, le nombre de réponses correctes diminua, selon le niveau de traitement requis. Dans l'Expérience 2, des sujets humains furent testés avec les mêmes peintures. Les sujets firent preuve de capacité de généralisation et les réponses correctes diminuèrent en fonction du degré de traitement sous forme de mosaïque. Ces observations suggèrent que la

fonction visuelle cognitive des pigeons puisse être comparée à celle des humains » (p. 147).

p. 30 Les oiseaux chanteurs apprennent à chanter

Specter (2001) écrit : « Les canaris vivent en moyenne dix ans, couvrent l'étendue de plusieurs octaves et chantent pour diverses raisons : pour s'annoncer, pour revendiquer leur territoire et pour faire fuir d'autres mâles quand ils cherchent à s'accoupler. (Les femelles chantent rarement.) Comme Charles Darwin l'a remarqué, les premières tentatives rudimentaires de vocalisation d'un oiseau chanteur – ou "sous-chant" – ont beaucoup en commun avec les gazouillements d'un nourrisson humain. À l'âge de huit mois, cependant, les canaris chantent comme des adultes, et leurs habitudes ne changent jamais : ils chantent pendant la période de nidification, au printemps, puis, pendant la saison de mue estivale, ils se défont de leurs chants comme s'il s'agissait de plumes. Au printemps suivant, ces mêmes oiseaux feront entendre un répertoire entièrement nouveau » (p. 42). Catchpole et Slater (1995) écrivent : « On a découvert que l'apprentissage jouait un rôle dans le développement des chants de chaque espèce d'oiseau chanteur étudiée jusqu'à présent. Les oiseaux chanteurs, ou oscines, sont une subdivision des passereaux, comprenant environ 4 000 des quelque 9 000 espèces d'oiseaux dont on connaît l'existence » (p. 66). Skutch (1996) écrit : « Une bonne partie du comportement aviaire, en particulier ses formes les plus complexes, est parachevée par l'apprentissage et l'expérience développée à partir d'une fondation innée que nous appelons instinct. À partir du motif héréditaire imparfait propre au chant de son espèce, un oiseau chanteur améliore sa performance en écoutant ses aînés. Les oiseaux semblent avoir un modèle inné de leurs nids ; mais du moins pour les plus élaborés d'entre eux, comme les nids de certains tisserins africains, leur accomplissement ne peut se faire sans pratique. Plusieurs études ont démontré que l'expérience permet aux oiseaux d'être des parents plus efficaces ; les couples nidifiant pour la première fois élèvent une moindre couvaison que leurs aînés. Bien que l'impulsion de voler dans une certaine direction soit innée du moins chez certains oiseaux migrateurs, le sens poussé de la navigation dont font preuve les oiseaux accomplissant une navette annuelle entre le territoire coutumier de l'hiver et celui de la

reproduction, territoires séparés par des milliers de miles, ce sens ne s'atteint sans observation, apprentissage et expérience. Et ce sont ici que quelques exemples d'activités des oiseaux pour lesquelles l'apprentissage vient compléter les tendances innées » (p. 121).

p. 30 Les oiseaux pratiquent leur chant en rêve

Dave et Margoliash (2000) écrivent : « Les oiseaux chanteurs apprennent une correspondance entre la production vocale motrice et le feedback auditif au cours de leur développement. Pour des neurones dans un cortex moteur analogue à celui des diamants mandarins adultes, nous montrons que le tempo et la structure de l'activité sollicitée par la lecture du chant pendant le sommeil correspondent à l'activité sollicitée par le chant de veille... Notre observation de relecture neuronale de schémas sensori-moteurs pendant le sommeil est en accord avec les données issues des études sur l'hippocampe, lesquelles laissent présumer que le sommeil est important dans la consolidation des codes temporeux neuronaux pour la mémoire spatiale. La prédiction fondamentale de notre modèle est que l'apprentissage du chant aviaire est lié au sommeil ou à d'autres types de traitements hors réseau » (pp. 812-815). Sur la genèse de neurones dans le cerveau humain, voir Eriksson *et al.* (1998).

p. 31 Cerveaux d'oiseaux

Pepperberg (1999) écrit : « Les études neurobiologiques sur des perroquets remontent au début du vingtième siècle. Selon les chercheurs de l'époque, les normes de corrélations appliquées aux mammifères entre la structure du cerveau – taille totale du cerveau et taille du cortex en proportion de celle-ci – et l'intelligence ne fonctionnaient peut-être pas pour les oiseaux. Kalisher (1901), par le biais de techniques évidemment assez primitives, découvrit que les zones striées plutôt que corticales étaient possiblement impliquées dans l'intelligence des oiseaux. Une métaphore que j'aime utiliser est de comparer les cerveaux mammifères et aviaires aux premières versions d'ordinateurs MacIntosh versus système IBM. Ces deux machines de traitement de l'information utilisent les mêmes câbles, et lorsqu'on entre les mêmes données dans leurs programmes, on obtient les mêmes résultats – mais les câbles sont organisés différemment et il faut utili-

ser des programmes adaptés à la configuration particulière de ces systèmes. Bien que les travaux des premiers chercheurs soient restés en grande partie ignorés pendant plusieurs décennies, plus tard, d'élégantes expériences ont mis en évidence des parallèles plus convaincants entre l'apprentissage et la mémoire aviaires et ces zones striées... La recherche qui suggérerait l'existence d'un lien entre le développement des striures et l'"intelligence" représentait un intérêt particulier. Dans les études sur l'apprentissage renversé, l'apprentissage d'ensembles, les problèmes insolites, les problèmes relatifs aux nombres et les problèmes de perspicacité détournée, les oiseaux dotés d'un meilleur développement striatal – comme les corbeaux, les perroquets et les mainates – réussissaient avec plus de précision que les oiseaux moins développés à ce niveau – tels les pigeons et les oiseaux de basse-cour – et se montraient même souvent supérieurs à certains singes. En outre, les lésions constatées dans ces zones semblaient interférer avec l'apprentissage. Les perroquets avaient également obtenu des scores élevés sur des problèmes mettant en jeu un étiquetage simple et des associations intermodales, et les perroquets gris avaient montré une capacité à répondre à des problèmes nouveaux avec autant de précision qu'à des problèmes traités dans l'apprentissage. Cette capacité de transférer l'information d'un problème sur un autre est généralement considérée comme la preuve de capacités cognitives avancées. De telles découvertes suggéraient que les oiseaux n'ont pas besoin d'un large cortex cérébral pour accomplir des tâches cognitives complexes, et que la mesure de l'intelligence aviaire, basée essentiellement sur l'étude des pigeons, avait probablement été largement sous-estimée » (pp. 9-10).

p. 31 Les chamanes parlent « le langage des oiseaux »

Eliade (1951) écrit : « Apprendre le langage des animaux, en premier lieu celui des oiseaux, équivaut partout dans le monde à connaître les secrets de la Nature et, partant, à être capable de prophétiser. Le langage des oiseaux s'apprend généralement en mangeant du serpent ou d'un autre animal réputé magique. Ces animaux peuvent révéler les secrets de l'avenir parce qu'ils sont conçus comme les réceptacles des âmes des morts ou les épiphanies des dieux. Apprendre leur langage, imiter leur voix, équivaut à pouvoir communiquer avec l'au-delà et

avec les Cieux. Nous retrouvons la même identification avec un animal, spécialement avec l'oiseau, quand nous parlerons du costume des chamanes et du vol magique. Les oiseaux sont psychopompes. Devenir soi-même un oiseau ou être accompagné par un oiseau indique la capacité d'entreprendre, étant encore en vie, le voyage extatique dans le Ciel et l'au-delà » (pp. 92-93). Guss (1985) écrit : « Accompagné par un tambour ou un hochet, par des drogues, son costume et la danse, le chamane entre en transe par le pouvoir de ses mots et une fois arrivé reçoit le message spécial qu'il a entrepris d'apprendre. Ce message – spécial par sa forme autant que par son contenu – lui est transmis dans une autre langue, le langage secret, ésotérique, que les esprits et les animaux utilisent dans leur propre monde. Ceci est le langage de la transformation et des Mots Magiques, le langage de l'inconscient et du monde souterrain, celui que les chamanes parlent entre eux en s'y référant comme au "Langage des Oiseaux" » (p. XI). Frazer (1888) écrit : « La raison pour laquelle c'est particulièrement le serpent qui est supposé transmettre la connaissance du langage des oiseaux émane d'une conception populaire de l'origine des serpents. Selon Démocrite, rapporté par Pline, les serpents sont générés à partir du sang mélangé de divers oiseaux. Cela explique pourquoi les serpents doivent connaître le langage des oiseaux ; ils le connaissent parce qu'ils ont des liens de sang avec les oiseaux, ayant du sang d'oiseau dans leurs veines » (pp. 180-181).

p. 32 Le maître des animaux comme protecteur de toutes les espèces

Reichel-Dolmatoff (1976) écrit, à propos des Desana d'Amazonie colombienne : « Les Desana croient en l'existence de personnifications surnaturelles étroitement associées avec le monde animal, et qui sont souvent décrites comme protecteurs et représentants de la faune locale. Le plus éminent de ces êtres est le Maître des Animaux, appelé *vai-mahsë*, "Animal-Personne", imaginé comme un être anthropomorphe, un nain phallique, qui vit parmi les animaux, qui est leur compagnon et leur gardien constant. Il n'est pas associé à une certaine espèce, mais *tous* les animaux sont supposés être sous sa protection. Tout cela est imaginé comme ayant lieu dans une dimension d'un Autre Monde où les animaux sont organisés socialement et se compor-

tent de façon très semblable aux humains : ils parlent, chantent, dansent et de manière générale se livrent à leur routine quotidienne comme des êtres doués de raison. Les esprits formes de ces animaux sont supposés habiter à l'intérieur de collines rocailleuses que l'on trouve ici et là dans la forêt, et ces "maisons", comme on les appelle, sont évitées par les humains... On imagine donc que le *vai-mahsë* existe sous plusieurs personnifications : comme un Maître du Gibier, un Maître des Poissons et, en termes assez généraux, en tant qu'esprit protecteur de toutes les espèces, voire de toute la nature. Le concept central de "Maître des Animaux" recouvre donc une pluralité de Maîtres, et assez souvent, le terme est mis au pluriel – *vai-mahsa* – et ainsi, référence est faite aux groupes de "maîtres" ou à leurs familles individuelles » (p. 161). Reichel-Dolmatoff (1978) écrit : « *Vai-mahsë* est [...] en premier lieu et avant tout le gardien du gibier ; il veille sur ses protégés et doit constamment admonester les chasseurs et les pêcheurs de ne pas outrepasser les limites dans la recherche de leurs proies » (p. 262).

CHAPITRE 2

p. 33 Le sol des forêts pluviales est pauvre

La chaleur et l'humidité qui prévalent sous le couvert des forêts pluviales accélèrent la dégradation des matières organiques de sorte que les nutriments sont rapidement recyclés par la végétation. Cela signifie que la richesse biologique n'a pas le temps de s'accumuler dans le sol, et par conséquent, que le déboisement des forêts tropicales mène à la désertification. Davis (1998) écrit : « Les forêts ont deux stratégies principales pour préserver la réserve nutritive de l'écosystème. Dans les zones tempérées, avec la périodicité des saisons et l'accumulation de débris organiques fertiles qui en résulte, la richesse biologique se trouve dans le sol lui-même. Sous les tropiques, c'est complètement différent. Avec un taux élevé d'humidité et des températures annuelles d'environ 80 degrés Fahrenheit (27 degrés Celsius), les bactéries et micro-organismes s'attaquent à la matière végétale virtuellement dès que les feuilles tombent par terre. Les quatre-vingt-dix pour cent des pointes de racines se trouvent à moins de dix

centimètres de la surface du sol. Les nutriments vitaux sont immédiatement recyclés dans la végétation. La richesse de cet écosystème, c'est la forêt vivante elle-même, mosaïque incroyablement complexe de milliers d'organismes vivants en interaction et interdépendance. C'est un château d'une sophistication biologique extrême littéralement construit sur un fondement de sable. La destruction des couverts forestiers entraîne une réaction de destructions en chaîne aux conséquences cataclysmiques. Les températures augmentent dramatiquement, l'humidité relative diminue, les taux d'évapotranspiration tombent d'un seul coup et la couverture mycorhizale où s'entrelacent les racines des arbres de la forêt (ce qui normalement augmente leur capacité d'absorption des nutriments) se dessèche et meurt. Avec la suppression du coussin végétal, les pluies torrentielles provoquent une érosion qui conduit à une déperdition supplémentaire de nutriments et de transformations chimiques dans le sol lui-même. Dans certaines régions déboisées d'Amazonie, la précipitation d'oxydes de fer sur des sols exposés à l'infiltration a créé des vastes surfaces d'argile latérite, un pavage de terre rouge, dur comme le roc et dans lequel même les mauvaises herbes ne pousseront pas » (p. 111).

p. 36 Communiquer par des chants avec les plantes et les animaux

Descola (1986) écrit à propos des conceptions de la nature parmi les populations achuar d'Équateur et du Pérou : « Si les êtres de la nature peuvent néanmoins communiquer entre eux et avec les hommes, c'est qu'il existe d'autres moyens de se faire entendre qu'en émettant des sons audibles à l'oreille. L'intersubjectivité s'exprime en effet par le discours de l'âme, qui transcende toutes les barrières linguistiques et convertit chaque plante et chaque animal en un sujet producteur de sens. Selon les modalités de la communication à établir, ce discours de l'âme peut prendre plusieurs formes. En temps normal, les hommes s'adressent aux plantes et aux animaux par des chants incantatoires qui sont réputés toucher directement le cœur de ceux auxquels ils sont destinés. Bien que formulés en langage ordinaire, ces chants sont intelligibles par tous les êtres de la nature... Cette espèce de métalangue chantée est également employée par les diverses espèces animales et végétales pour communiquer entre elles et surmonter ainsi la

malédiction solipsiste de langages particuliers. Mais si les hommes dans l'état de veille consciente sont capables d'émettre des messages vers les plantes et les animaux, ils ne sauraient en revanche percevoir ni les informations que ces êtres échangent ni les réponses qu'on leur adresse. Pour qu'une véritable relation interlocutive puisse s'établir entre les êtres de la nature et les hommes, il faut que leurs âmes respectives quittent leur corps, se libérant ainsi des contraintes matérielles d'énonciation qui les enserrant ordinairement. Les voyages de l'âme se réalisent principalement au cours des rêves et lors des trances provoquées par des décoctions hallucinogènes à base de *Datura* (*mai-kiua*) ou de *Banisteriopsis* (*natem*). Les chamanes sont particulièrement aptes à contrôler ces pérégrinations de leur double conscient, car ils ont une grande pratique du dédoublement. Mais ce n'est pas là un apanage exclusif à leur fonction et n'importe quel individu, homme, femme ou enfant, est capable dans certaines circonstances de faire franchir à son âme les limites étroites de la corporéité, afin de se mettre en relation dialogique directe avec le double d'un autre être de la nature, qu'il soit homme, plante, animal ou esprit surnaturel » (pp. 126-127).

p. 37 Le propriétaire des animaux : jaguar et transformateur

Reichel-Dolmatoff (1978) écrit à propos du maître des animaux selon les Desana d'Amazonie colombienne : « *Vai-mahsë* peut apparaître à de nombreuses personnes sous des apparences diverses... Quand ses fonctions sont celles d'un dieu de la pluie fertilisateur, il est perçu comme lançant ses coups de tonnerre en esquilles de quartz blanc ou, plutôt, il se transforme en un coup de tonnerre qui frappe soudainement une colline, un arbre ou même une maison. Les gens disent : *vai-mahsë mohó yuriáya*, "*vai-mahsë* – laisse tomber – son arme" ; ou ils peuvent dire : *yee mohó yuriáya*, le mot *yee* signifiant indifféremment jaguar ou chamane. En fait, le Maître des Animaux est les deux ; sous sa forme de jaguar, il domine tous les autres animaux, et parmi ses créatures, il est le sage chamane, le protecteur, le médiateur entre le chasseur et sa proie. Il peut aussi se manifester sous la forme d'une grande tempête, ou d'un coq de roche exhibant son plumage jaune vif, ou encore sous la forme d'un lézard, d'un poisson ou d'un oiseau cassique » (pp. 262-263).

p. 40 Le « dessein intelligent » implique un « concepteur »

Behe (2001) écrit : « La théorie d'un dessein intelligent implique cependant l'existence d'un concepteur capable de planifier et d'exécuter les formidables complexités de la vie sur terre. Bien qu'il y ait, du moins en théorie, quelques candidats exotiques au rôle de concepteur qui puissent être compatibles avec une philosophie matérialiste (du genre extraterrestres ou voyageurs dans le temps), peu nombreux seront ceux qui se laisseront convaincre par cette hypothèse et arriveront à la conclusion que le concepteur est au-delà de la nature. De nombreux scientifiques sont incapables d'accepter un tel concepteur ou refusent de le faire parce que cela va à l'encontre de leur engagement premier en faveur du matérialisme, ou du moins pour le matérialisme fonctionnel qui régit leur travail. Néanmoins, je demeure optimiste quant au fait que la communauté scientifique finira par accepter l'existence d'un dessein intelligent, même si cette acceptation reste discrète et en sourdine. La raison de cet optimisme, c'est les avancées de la science elle-même, qui presque chaque jour découvre de nouvelles complexités dans la nature, et de nouvelles raisons de reconnaître le dessein inhérent à la vie et à l'univers » (pp. 100-101). Voir aussi Dembski (1999).

p. 41 L'athéisme est le déni du théisme

Gray (2002) écrit : « La non-croyance est une démarche dans un jeu dont les règles sont fixées par des croyants. Refuser l'existence de Dieu, c'est accepter les catégories du monothéisme. Comme ces catégories tombent en désuétude, la non-croyance devient inintéressante et se départit bientôt de son sens. Les athées disent vouloir un monde séculier, mais un monde défini par l'absence du dieu des chrétiens ne cesse pas d'être un monde chrétien. Le laïcisme est comme la chasteté, une condition définie par ce qu'elle refuse. Si l'athéisme a un avenir, cela ne peut être que dans le cadre d'une renaissance chrétienne ; mais en fait, la chrétienté et l'athéisme sont sujets à un même déclin » (pp. 126-127).

CHAPITRE 3

p. 45 Le chamanisme se transforme

Townsley (2001) remarque à propos du déclin du chamanisme parmi les peuples indigènes : « Il est évident que la dynamique centrale de ces derniers siècles d'histoire s'est éloignée des communautés indigènes, de leur vision du monde, et des éléments tel le chamanisme qui en font intégralement partie. Comme nous le savons tous, dans plusieurs régions du globe, ces cultures ont été violemment piétinées. Ailleurs, là où les peuples indigènes se donnent du mal pour atteindre ce qu'elles perçoivent comme étant le monde excitant du futur, le chamanisme commence à passer pour une sorte de charlatanisme désuet, et il disparaît tranquillement des mémoires. D'une manière ou d'une autre, l'avènement de la modernité avec tout son attirail de nouveautés sonne le glas de ces visions du monde diverses, primitives, animistes, quel que soit le nom qu'on voudra leur donner. Le reflux intéressant de ce courant central de l'histoire, c'est que tout comme ces visions du monde "primitives" disparaissant dans l'arrière-pays de la nouvelle globalisation, elles reprennent racine dans son centre. Pour les classes moyennes urbaines, déjà saturées des gadgets de la modernité et mortellement ennuyées par la perte de sens que ceux-ci semblent entraîner, le chamanisme, le vaudou, la sorcellerie, toutes ces choses primitives, semblent brusquement extrêmement attirantes. Voilà un entrecroisement historique des plus intéressants. Pour ceux qu'on appelle les primitifs, marginalisés, et généralement impuissants, la promesse du monde moderne, ce sont les *choses*, la facilité et la sécurité. Pour les soi-disant modernes, la promesse du monde primitif, c'est justement cette chose dont ils manquent – le *sens*. La ruée primitive vers la modernité et la ruée moderne vers le primitif représentent l'un des aspects incongrus mais reconnus du paysage culturel actuel de notre monde. Et beaucoup d'entre nous passons notre vie à faire la traversée » (p. 50). Voir aussi Leclerc (2003).

p. 48 Pour les Amazoniens, la nature est apparentée aux humains

À travers l'Amazonie occidentale, les populations indigènes considèrent les plantes et les animaux comme des personnes vivant dans des sociétés qui leur sont propres et dotées de connaissance, de

savoir-faire, d'émotions, d'intentions et de la capacité d'échanger des messages entre eux et avec des membres d'autres espèces, y compris les humains. Descola (1999) écrit : « [...] les Indiens d'Amazonie, loin d'être les jouets ou les protecteurs d'une nature étrangère, ont su intégrer l'environnement à leur vie sociale de telle façon que les humains et les non-humains soient traités sur un pied d'égalité. En effet, la plupart des cosmologies de la région n'opèrent pas de distinctions tranchées entre la nature et la société, mais confèrent à bien des plantes et des animaux les principaux attributs de l'humanité » (p. 220). Arhem (1996) écrit à propos des Makuna d'Amazonie colombienne : « Les Makuna décrivent les animaux comme étant des "personnes". Le gibier et les poissons sont dotés de connaissances, de moyens d'action et d'autres attributs humains. Ils sont supposés vivre dans des *malocas* dans la forêt, et les rivières, dans les salants, les collines et les rapides. Quand les animaux se déplacent dans la forêt ou nagent dans les rivières, ils apparaissent comme des poissons ou du gibier, mais quand ils rentrent dans leur maison, ils abandonnent leur déguisement animal, revêtent leurs couronnes de plumes et leurs ornements rituels, et se transforment en "personnes"... En effet, chaque espèce ou communauté animale est dite avoir sa propre "culture", ses connaissances, ses usages et ses biens grâce auxquels elle se maintient en tant que classe d'êtres distincts » (p. 190). Il ajoute : « Les Makuna soulignent la continuité qui existe entre nature et société, et en fin de compte l'unité fondamentale de toute forme de vie, comme il apparaît dans les notions de *masa* – l'"humanité" de tous les êtres – et *he* – la réalité indifférenciée, transcendante, au-delà de toute différenciation physique. La prédation humaine – la chasse, la pêche et la cueillette – est interprétée comme un échange, et tuer pour se nourrir est représenté comme un acte générateur à travers lequel la mort est employée pour le renouvellement de la vie. Une telle idéologie a de puissantes implications sur les actions humaines. Les animaux "autres" sont traités comme "égaux" et "personnes", part entière d'un pacte moral gouvernant les relations au sein de la société humaine tout comme dans la société, au sens plus large, formée par tous les êtres. Plutôt que de proclamer la suprématie de la race humaine sur d'autres formes de vie, légitimant ainsi l'exploitation humaine de la nature, l'écocosmologie makuna souligne la responsabilité de l'homme envers l'environnement

et l'interdépendance de la nature et de la société. La vie humaine a pour objectif unique, fondamental et socialement valorisé, le maintien et la reproduction de la totalité interconnectée des êtres qui constituent le monde vivant ; "maintenir le monde", comme disent les Makuna. En fait, cette responsabilité cosmonomique envers le tout – et la connaissance chamanique qui l'accompagne – est, pour les Makuna, le sceau de l'humanité » (pp. 200-201).

p. 51 Un livre par des autochtones d'Amazonie péruvienne

Ce volume, *El Ojo Verde : Cosmovisiones Amazónicas* (L'Œil vert : cosmovisions amazoniennes) est un véritable trésor – voir AIDSESEP (2000) et www.ojoverde.perucultural.org.pe

p. 51 Les chamanes sont des transformateurs

Canetti (1960) écrit : « La capacité des humains à se transformer/métamorphoser eux-mêmes, qui leur a donné tellement de pouvoir sur d'autres créatures, n'a pas vraiment été étudiée et n'est pas encore bien comprise. C'est une énigme majeure : chaque personne l'a, et l'utilise, et tout le monde considère cela comme parfaitement normal. Mais rares sont ceux qui reconnaissent qu'ils lui doivent le meilleur de ce qu'ils sont » (p. 373). La citation dans le texte principal est de Reichel-Dolmatoff (1987, p. 10).

pp. 51-52 L'homme à tête d'oiseau de Lascaux

Campbell (1959) écrit : « En outre, il y a une autre peinture étrange, qui évoque plus encore le mystère de cette cathédrale de la magie de la chasse datant de l'âge de pierre, située au fond d'un puits ou d'une crypte naturelle très profonde, en dessous du niveau principal du sol de la grotte – un lieu extrêmement difficile d'accès. Là, en-bas, un grand bison mâle, éviscéré par une lance qui a transpercé son anus et est ressortie à travers son organe sexuel, se tient devant un homme en extase. Ce dernier (la seule figure dessinée grossièrement, et la seule figure humaine de la cave) est plongé dans une transe chamanique... L'homme porte un masque d'oiseau et a des pattes d'oiseau au lieu de mains humaines. Il est certainement un chamane, le costume d'oiseau et la transformation en oiseau étant caractéristiques, comme nous l'avons vu, de la tradition chamanique en Sibérie et en Amérique du

Nord jusqu'à nos jours » (pp. 300-301). Davenport et Jochim (1988) écrivent à propos des mains à quatre doigts de l'homme à la tête d'oiseau : « Quatre est précisément le nombre de doigts des oiseaux. Le fait de remplacer les deux mains de l'homme par des pattes d'oiseau à quatre doigts était un stratagème sophistiqué de l'artiste pour rendre l'image plus semblable à l'oiseau... On se demande bien quelle aurait été la réaction de l'artiste si on lui avait dit que, quelque quatorze millénaires voire plus après sa mort, les experts qui se penchaient sur son art avaient perdu à tel point le contact avec la nature qu'ils étaient inconscients de ce que signifiait le fait d'avoir dessiné quatre "doigts" sur chaque main. En fait, l'artiste a dessiné l'humanoïde sous la forme d'un être à moitié oiseau et à moitié homme, oiseau depuis la taille et humain de la taille aux pieds » (p. 560). Giedion (1957) écrit : « Je partage l'opinion de S. Blanc, des Eyzies, ancien inspecteur des Monuments historiques, que cet homme-oiseau se tient en fait verticalement au moment de l'exaltation suprême. Un bras, avec une main à quatre doigts, pointe en direction de l'oiseau sur une perche, l'autre désigne le bison qui s'effondre avec ses entrailles qui se répandent. L'homme est ithyphallique et montre tous les signes d'une excitation portée à son comble et d'une concentration extrême de ses pouvoirs... Quand j'ai visité la grotte pour la première fois, en 1949, j'ai demandé à un photographe local de prendre une photo de l'homme-oiseau depuis le fond du "puits", à niveau, sans incliner l'appareil ou utiliser d'expédients artificiels. L'homme-oiseau se tient érigé dans toute sa puissance. La scène est placée dans un endroit rituellement important, proche du bout de la caverne. Elle est difficile d'accès, étant située en dessous du niveau normal de la grotte, et séparée de celle-ci par une petite façade de rocher. Si l'on regarde à l'intérieur du "puits" à partir de là, la figure apparaît à nouveau verticale » (p. 508).

p. 52 Le « Sorcier » des Trois-Frères

Bégouën (1929) écrit : « Ici nous voyons une étonnante figure humaine masquée, avec une longue barbe, les yeux d'un hibou, les antennes d'un cerf, les oreilles d'un loup, les griffes d'un lion et la queue d'un cheval. Elle est gravée et ses traits, accentués en peinture noire, à environ dix pieds [3,35 m] du sol, dans un recoin très malaisé d'accès, dans une petite chambre ronde appelée le Sanctuaire. Elle

semble dominer et présider sur les centaines d'autres créatures, de treize espèces différentes, gravées et dessinées sur les murs en dessous. C'est le mystère suprême de la grotte. Est-ce quelque déité étrange de ces peuples primitifs ? Ou n'est-ce pas plutôt le Grand Sorcier qui a rassemblé sur lui-même les divers attributs de ces animaux qu'il enchante, un personnage incarné de nos jours encore par le Chamane des tribus primitives de Sibérie » (p. 17).

p. 52 La femme bison félin de la grotte Chauvet

Chauvet *et al.* (1996) écrivent : « Tout le monde sait que les humains sont très rarement représentés dans l'art paléolithique. La grotte Chauvet ne fait pas exception, puisqu'on n'y a pas encore trouvé une seule figure humaine. On n'y voit que quelques segments d'un corps et un être composite... une créature noire, debout et légèrement penchée vers l'avant : le sommet de son corps est celui d'un bison, et le bas, celui d'un humain, avec deux jambes bien indiquées » (p. 110). Les peintures de la grotte Chauvet ont été datées au carbone sur la base de 28 échantillons, ce qui est plus que n'importe quelle autre grotte préhistorique ; la majorité de ces échantillons ont été estimés comme remontant à une période de 30 000 à 33 000 ans (voir Clottes *et al.*, 2001, pp. 32-33).

p. 52 Chamanes et imagerie chimérique dans la préhistoire

Clottes et Williams (1996) écrivent dans leur livre *Les Chamanes de la préhistoire : transe et magie dans les grottes ornées* : « [...] les images qui semblent représenter des créatures mi-humaines mi-animales, bien que comparativement rares, étaient d'évidence chargées de sens au paléolithique supérieur. La localisation de ce que l'on a appelé le "Sorcier" des Trois-Frères en position dominante, très haut au-dessus du Sanctuaire est particulièrement frappante... La plupart des chercheurs ont interprété ce genre de figures comme des "sorciers" déguisés ou costumés. Certains les ont comparées au dessin par Witsen [au dix-huitième siècle] d'un chamane sibérien. Et pourtant, le contexte généralement chamanique de l'art suggère d'autres possibilités. Il pourrait s'agir d'images de chamanes partiellement transformés en animaux, au cours de leurs hallucinations du Stade 3, comparables à des figures du sud de l'Afrique et d'ailleurs. Ce pourrait être aussi la

représentation d'un Dieu des Animaux qui contrôle la faune, veille à sa préservation et, sous certaines conditions impliquant souvent des rites propitiatoires, permet aux chasseurs de tuer les animaux. Dans chacun des cas, les images des personnages transformés font clairement partie d'un système de croyances chamaniques. Elles appartiennent au troisième stade hallucinatoire et à l'étage inférieur du cosmos chamanique » (p. 94). Et pourtant, la nature chamannique des peintures préhistoriques reste vague. Comme Patte (1960) l'écrit à propos du chamanisme : « [...] on peut, il est vrai, retrouver quelques dessins dont il peut rendre compte ; il y a le bâton terminé par un oiseau, que laisse choir le bonhomme-fil-de-fer de Lascaux ; des bâtons semblables et les oiseaux jouent un grand rôle dans le chamanisme ; mais Horus avait un sceptre à tête de lièvre, qui lui ressemble fort ; il y a le "Sorcier" des Trois-Frères avec ses bois de cerf, qui rappelle le chamane en costume de plusieurs populations actuelles, mais une coiffure à cornes se retrouve hors de pays à chamanes... L'essentiel du chamanisme consiste dans des voyages de l'esprit du chamane, entré en transe, soit à la recherche d'âmes, soit en vue d'obtenir des renseignements et la faveur du maître ou de la maîtresse des animaux pour le succès de la chasse ou de la pêche ou la venue de la pluie ; et il lui faut l'aide d'un esprit. Or, de tout cela, on ne peut rien savoir... Chamanisme et totémisme sont des phénomènes beaucoup trop particuliers pour être affirmés sans données écrites » (pp.172-73). Vitebsky (1995) écrit : « Les idées qui tournent autour des chamanes sont si complexes et subtiles qu'il faut tous les efforts des anthropologues travaillant sur le terrain parmi des personnes vivantes pour les découvrir, et même, dans ces conditions, toutes sortes de malentendus restent possibles. Il est possible que les chasseurs du paléolithique aient eu des chamanes dans leurs communautés, mais cette théorie ne peut pas être prouvée. Il semble certain que, jusqu'au développement de l'agriculture, toutes les sociétés humaines fondaient leur alimentation sur la chasse, et qu'au cours de l'histoire récente, le lien entre chamanisme et mode de vie des peuples chasseurs est particulièrement présent. Cette connexion n'est cependant ni simple ni exclusive » (p. 29). Bahn et Vertut (1998) écrivent : « Le fait de réaliser que les motifs et les objectifs de l'art paléolithique ne sont pas facilement déchiffrables a eu pour effet que les chercheurs ont trouvé de plus en plus difficile de

s'aventurer au-delà des descriptions détaillées et des spéculations bien intentionnées. Ce qui résulte de cela, en fait, c'est de savoir si l'on peut se contenter d'étudier cet art comme un ensemble de signes qui ne peuvent être déchiffrés, ou si l'on veut l'enrober d'histoires inventées à leur propos ! » (p. 21).

p.52 Signes hybrides dotés de significations multiples

Giedion (1957) écrit : « Les masques et figures hybrides ont ceci en commun : il est impossible d'en déterminer le sens avec exactitude. Il est impossible d'approcher leur signification sans faire entrer le facteur essentiel d'indétermination. L'indétermination entre le réel et l'imaginaire constitue leur être légitime, leur nature légitime. Elle va de pair avec les formes indéfinies, mouvantes, qui apparaissent si souvent dans l'art primitif et qui permettent d'exprimer les relations au surnaturel. La multiplicité de sens attachés aux symboles empêche d'en comprendre la signification véritable. Avec les figures hybrides, au contraire, c'est justement le facteur d'indétermination qui donne la clé pour une compréhension des concepts religieux primitifs. L'homme primitif reste enveloppé dans une merveilleuse unité d'existence qui embrasse à la fois le sacré et le profane » (pp. 511-512).

p. 53 Parenté avec la nature établie par la science

Wilson (1993) écrit : « *Les autres espèces nous sont apparentées.* Cette déclaration est littéralement vraie dans la durée de l'évolution. On considère que tous les organismes eucaryotes supérieurs, depuis les plantes qui fleurissent jusqu'aux insectes et à l'humanité elle-même, descendent d'une seule et même population ancestrale qui vivait il y a environ 1,8 milliards d'années. Les eucaryotes unicellulaires et les bactéries sont apparentés via des ancêtres encore plus lointains. Cette distante parenté est scellée par un code génétique commun et par les caractéristiques élémentaires communes propres à la structure cellulaire. L'humanité n'a pas atterri en douceur dans une biosphère grouillante de vie tel un extraterrestre venu d'une autre planète. Nous nous sommes développés à partir d'autres organismes déjà présents sur cette terre » (p. 39, italiques originaux). Wade (1998) écrit : « Les souris ressemblent beaucoup aux humains. Il a fallu les progrès de la science pour prouver cette humble vérité. Génération

après génération, des hommes se sont enorgueillis de leur capacité guerrière, de leur puissance, de la peur qu'ils engendraient, de leur magnificence – en bref, de leur totale absence de ressemblance avec les souris. Mais les généticiens aujourd'hui savent mieux. Les instructions nécessaires au développement et au fonctionnement d'un être humain exigent trois milliards de caractères chimiques d'ADN, le matériel génétique. Mais les souris, elles aussi, possèdent trois milliards de caractères d'ADN dans chacune de leurs cellules, comme si le plan présidant à leur conception était en tout point aussi sophistiqué. Pour 100 gènes humains, 97 ou plus ont leur contrepartie chez la souris, et les gènes de souris, dans le langage de l'ADN, s'épellent de manière très semblable aux gènes humains. En effet, l'ancêtre commun des souris et des hommes vivait il y a seulement 75 millions d'années. Ce cousinage génétique fait des souris des sujets idéals pour la recherche médicale. À tous les niveaux, des gènes aux cellules et à la physiologie, elles fonctionnent de la même manière que les humains » (p. WK 5). Selon le Mouse Genome Sequencing Consortium (2002), qui a révélé la séquence intégrale du génome des souris : « La proportion de gènes de souris dépourvus d'homologues aujourd'hui détectables dans le génome humain (et vice versa), semble être de moins de 1 % » (p. 521).

CHAPITRE 4

p. 55 La culture des chimpanzés

Whiten et Boesch (2001) écrivent : « Le plus proche parent des humains est encore plus proche que nous le pensions : les chimpanzés montrent des comportements remarquables qui ne peuvent être décrits qu'en termes d'usages sociaux, lesquels se transmettent de génération en génération... Au cours de ces deux dernières années, une collaboration scientifique sans précédent, incluant tous les principaux groupes de chercheurs étudiant les chimpanzés, a permis de documenter une multitude de modalités culturelles distinctes s'étendant à travers toute l'Afrique, depuis l'utilisation d'outils par cet animal à ses modes de communication et ses coutumes sociales. Le portrait qui se dégage des chimpanzés non seulement affecte notre perception de ces créatures

étonnantes, mais modifie également la conception que les êtres humains ont de leur singularité et permet un aperçu des fondements très anciens sur lesquels repose l'extraordinaire capacité de culture de l'humanité » (pp. 49, 50-51).

p. 55 Les dauphins se reconnaissent dans des miroirs

Dans une expérience conduite par Reiss et Marino (2001), deux grands dauphins *Tursiops truncatus* (« bottlenose ») vivant en captivité dans le New York Aquarium ont été marqués à l'encre noire sur des parties de leur corps qu'ils ne voient pas d'habitude. On leur a aussi fait des marques simulées avec de l'eau et non de l'encre. Les deux dauphins étaient habitués à vivre dans un aquarium équipé d'un miroir. Lors de tests séparés, et à plusieurs reprises, chaque animal s'est dirigé tout droit vers le miroir pour trouver l'endroit où il avait été marqué, souvent en se retournant sur lui-même pour exposer l'endroit concerné, sur le bas-ventre, par-dessus la nageoire pectorale ou derrière l'oreille. Ils ont aussi passé considérablement plus de temps à examiner les marques à l'encre que les marques simulées. Et ils n'ont montré aucun intérêt pour les marques des autres dauphins. Jusqu'à récemment, les scientifiques pensaient que seuls les grands singes et les humains pouvaient se reconnaître dans un miroir. Cette capacité, considérée comme un signe de conscience de soi, était perçue comme l'exclusivité des « primates supérieurs ». Mais ces dauphins, dont le dernier ancêtre commun partagé avec nous vivait il y a 70 millions d'années, semblent bien aussi avoir développé de leur côté une conscience de soi.

p. 55 Les corbeaux fabriquent des outils standardisés

Hunt (1996) a rapporté qu'une race de petits corbeaux vivant dans les forêts pluviales du Pacifique Sud fabriquent des outils munis de crochets et d'embouts dentés standardisés qui les aident à dénicher des vers de terre et des insectes cachés dans des trous. Pour faire un crochet, les corbeaux coupent avec leur bec les rameaux d'une branche juste au point d'intersection avec un autre rameau. Quand l'opération est faite soigneusement, il en résulte un petit crochet à la base du rameau. Hunt écrit : « La fabrication d'outils par les corbeaux se distinguait en trois points des outils employés par des non-humains en

liberté, trois caractéristiques qui ne sont apparues dans les cultures humaines faisant usage d'outils qu'après le bas paléolithique : un degré élevé de standardisation, des types d'outils bien distincts dotés d'une forme bien déterminée, et l'usage de crochets » (p. 251). Hunt commente sa recherche : « Il reste plusieurs questions intrigantes sur l'usage d'outils par les corbeaux. Particulièrement importante, la question de savoir si cette capacité est liée à un apprentissage ou si ce savoir-faire pour fabriquer et utiliser des outils est un héritage génétique. Sans savoir cela, il est difficile de dire quoi que ce soit sur leur intelligence, bien qu'on devine sans peine que ces corbeaux particuliers sont aussi astucieux que les corbeaux en général » (cité par Davies, 2002 : 2-3).

pp. 55-56 Les chauves-souris vampires partagent la nourriture

Voir Wilkinson (1984). Kennedy (2002) dit : « Les chauves-souris restent suspendues en colonie et sortent la nuit pour chasser, un chien endormi, du bétail, ou encore une belle femme. Et il va de soi que ce type de prédation n'est pas toujours couronné de succès. Je veux dire : il n'y a pas partout un chien endormi. Il arrive que certaines chauves-souris aient attrapé une proie, et d'autres pas. Et un zoologiste a maintenant étudié assez soigneusement le comportement de vampires qui avaient été cerclés, de sorte qu'on puisse distinguer ces individus dans la colonie, et les observer durant de longues périodes. Et ce qu'il en ressort, c'est que ces chauves-souris, lorsqu'elles reviennent au nid avec un grand repas de sang, sont capables de le partager. Il y en a plus que ce qu'il me faut, alors, s'il vous plaît, prenez-en un peu – et vous aussi, servez-vous. Et il a suivi avec attention qui sont les “invités”, et comment leurs “hôtes” les traitent. Et il s'avère – comme des humains qui jouent au jeu du dilemme itéré des prisonniers – qu'ils récompensent les individus qui ont partagé avec eux précédemment, comme un prêt pour un rendu » (p. 6).

p. 56 Alex, le perroquet gris africain

Voir Pepperberg (1999), ainsi que Mukerjee (1996) et Smith (1999).

pp. 56-57 Les fourmis cultivent des champignons grâce à des antibiotiques

Voir Currie *et al.* (1999). Schultz (1999) commente : « Comme d'autres parallèles entre l'agriculture des fourmis et celle des humains, comprendre cet usage d'antibiotiques par les fourmis pourrait se révéler directement utile à la survie de l'être humain... Étant donné qu'une résistance pathogène de plus en plus forte semble prendre de court le développement d'antibiotiques par les humains, on pourrait se demander comment les antibiotiques des fourmis sont restés si longtemps efficaces contre les parasites menaçant les élevages de champignons » (p. 748). Wade (1999) commente : « Même maintenant, les fourmis accomplissent deux exploits qui dépassent les pouvoirs de la technologie humaine. Les coupeuses de feuilles produisent sans problème année après année une monoculture, et pour cela, elles utilisent un antibiotique de manière apparemment si sage et prudente que, contrairement aux êtres humains, elles ne provoquent pas de résistance à l'antibiotique dans la cible pathogène » (p. D4). Des colonies de certaines espèces de fourmis coupeuses de feuilles représentent collectivement la biomasse d'une vache adulte, et la végétation fraîche coupée par elles représente l'équivalent des besoins quotidiens de la vache. Les fourmis coupeuses de feuilles ramènent dans leur fourmilière 15 % environ de la végétation des forêts tropicales.

pp. 57-58 Définitions de l'intelligence

Stern (1999) écrit : « Selon les diverses cultures et sous-cultures, l'accent est mis sur les différentes expressions de l'intelligence. Certains savoir-faire et comportements valorisés et encouragés dans une société peuvent être entièrement différents de ceux qui sont valorisés et encouragés dans une autre » (p. 504). Franklin (1995) écrit : « Avant d'essayer de définir l'intelligence artificielle, nous avons pensé plus prudent de dire d'abord ce que nous signifions par intelligence. Après presque deux ans d'altercations, nous avons abandonné en désespoir de cause » (pp. 187-188). Pour les citations dans le texte principal, voir Gardner 1999 (pp. 19, 33-34, 88, 94), et Stern 1999 (pp. 504, 506).

p. 59 Monod et la méthode scientifique

Monod (1971) écrit : « La pierre angulaire de la méthode scientifique est le postulat de l'objectivité de la Nature. C'est-à-dire le refus

systématique de considérer comme pouvant conduire à une “connaissance” vraie toute interprétation des phénomènes donnée en termes de causes finales, c’est-à-dire de “projet”... Postulat pur, à jamais indémontrable, car il est évidemment impossible d’imaginer une expérience qui pourrait prouver la *non-existence* d’un projet, d’un but poursuivi, où que ce soit dans la nature. Mais le postulat d’objectivité est consubstantiel à la science, il a guidé tout son prodigieux développement depuis trois siècles. Il est impossible de s’en défaire, fût-ce provisoirement, ou dans un domaine limité, sans sortir de celui de la science elle-même » (italiques originaux, pp. 37-38).

p. 59 Abeilles mécaniques

La citation est de Monod (1971, pp. 22-23). La citation de Donald Griffin est issue d’un entretien avec Vines (2001, p. 51).

pp. 59-60 Changements de mentalité dans les sciences

La citation est de Kennedy (2002, p. 7).

p. 60 Bacon et l’anthropomorphisme

Bacon (1960, orig. 1620) écrit : « [...] bien que les principes les plus généraux de la nature doivent être tenus pour essentiellement positifs, tels qu’ils sont découverts, et en vérité ne peuvent être rapportés à une cause, néanmoins, la compréhension humaine étant incapable de se reposer, elle continue à chercher quelque chose de préalable dans l’ordre de la nature. Et c’est à ce moment-là, en se débattant pour arriver à ce qui est éloigné, qu’elle retombe sur quelque chose de proche, c’est-à-dire, de causes finales, qui ont clairement à voir avec la nature de l’homme plutôt qu’avec la nature de l’univers ; et qui, à partir de là, ont souillé la philosophie » (pp. 51-52). Levy (2001) écrit : « Ceux qui étudient le comportement animal considèrent généralement l’anthropomorphisme comme un péché capital. Voilà qui sert à expliquer pourquoi ils n’ont pas montré beaucoup d’intérêt jusqu’à maintenant pour la personnalité [des animaux] » (p. 35). Pourquoi le langage anthropomorphique prévaut-il à ce point dans la science s’il est contraire à la méthode scientifique ? Des scientifiques ont donné une réponse ambiguë à la question. Ils disent qu’ils utilisent un langage quotidien « pour la simple raison que c’est notre manière de parler

ordinaire et par conséquent facilement compréhensible », alors qu'entre eux, ils ne croient l'utiliser que « dans un sens purement métaphorique » (voir Kennedy 1992, p. 14). En d'autres termes, ils prennent la liberté d'utiliser un langage subjectif sans y croire vraiment de façon à être compréhensible. Ainsi, Richard Dawkins (1976) explique dans son livre, *Le Gène égoïste*, que son langage anthropomorphique ne doit pas être pris pour argent comptant : « Si nous nous permettons de parler des gènes comme s'ils avaient des objectifs conscients, en restant constamment convaincus que nous pourrions traduire notre langage maladroit en termes respectables si nous le voulions, nous pouvons nous demander ce que le gène égoïste essaie de faire. Il essaie de se démultiplier dans le réservoir de gènes » (p. 88). Mais la notion même d'un langage « respectable », ou « objectif » ou « neutre » est problématique. En effet, une description objective ne peut jamais être détachée de la perception du sujet, car cela supposerait qu'à titre individuel, les scientifiques ont en quelque sorte la possibilité de sortir d'eux-mêmes et de déterminer avec précision ce qui est subjectif et ce qui est objectif. Mais personne ne peut atteindre un point de vue sans partir d'un point de vue. Un langage véritablement neutre n'existe pas. Et en particulier, les débats sur l'anthropomorphisme ne sont pas objectifs mais culturellement dépendants.

p. 61 Descartes

La citation est de Descartes (1953, orig. 1637, pp. 164, 166).

p. 62 Hume, Locke et Schopenhauer

Hume (1978, orig. 1739) a écrit : « C'est à partir de la ressemblance des actions externes des animaux à celles que nous réalisons nous-mêmes que nous jugeons que leurs actions internes ressemblent également aux nôtres ; et en prenant ce même raisonnement un pas plus loin, nous concluons que, puisque nos actions internes se ressemblent, les causes qui les sous-tendent doivent également se ressembler. Pour cela, lorsqu'une quelconque hypothèse est avancée pour expliquer une opération mentale commune à l'homme et aux bêtes, nous devons appliquer la même hypothèse aux deux » (pp. 176-177). Locke (1975, orig. 1689) a écrit : « La *perception* se trouve, je crois, *dans toutes sortes d'Animaux* ; même si, pour certains, les Avenues fournies par la

Nature pour la réception de Sensations sont, peut-être, peu nombreuses, et si la Perception qu'ils reçoivent est obscure et terne, faisant que la vitesse et la variété des Sensations sont très courtes en comparaison aux autres Animaux : mais elle reste suffisante, et bien adaptée, pour l'état et la condition de toutes sortes d'Animaux qui sont ainsi faits : De sorte que la Sagesse et la Bonté du Créateur paraissent clairement dans toutes les parties de cette Étoffe stupéfiante, qui contient tous les degrés et grades de Créatures » (p. 148). Il ajoute, sous l'en-tête « Les brutes n'ont pas la capacité d'abstraction » : « Et donc, je pense que nous pouvons présupposer qu'en ceci, les Espèces de *Brutes* sont distinctes de l'Homme ; et que la bonne différence est celle qui les sépare entièrement de nous, et finalement qui s'écarte au point de créer une vaste distance. Parce que si elles ont quoi que ce soit comme *Idées*, et qu'elles ne sont pas que des Machines nues (comme certains le pensent), nous ne pouvons pas leur nier une Raison. Il me semble évident, que certaines d'entre elles raisonnent dans certaines Instances, puisqu'elles sont sensées ; mais ce ne sont que des *Idées* particulières, telles qu'elles les ont reçues de leurs Sens. Les meilleures d'entre elles se trouvent confinées dans ces limites étroites, et *n'ont pas* (d'après moi), la faculté de les élargir par une quelconque sorte d'*Abstraction* » (p. 160, italiques originales). Schopenhauer (1970, orig. 1851) a écrit : « La vie des *plantes* consiste en une *existence* simple : ainsi, leur appréciation de la vie est purement et absolument faite de contentement subjectif et engourdi. Avec les *animaux* arrive la *connaissance* : mais celle-ci reste entièrement limitée à servir leur propre motivation, et même leur motivation la plus immédiate. Pour cette raison, ils trouvent également un contentement complet dans une existence simple, ce qui suffit à remplir leur vie ; ainsi, ils peuvent passer des heures en étant complètement inactifs sans se sentir mécontents ou impatients, même s'ils ne pensent pas, et ne font que regarder. Seuls les animaux les plus malins comme les chiens et les grands singes ont besoin d'activité, et avec cela arrive l'ennui ; c'est pour cela qu'ils aiment jouer, et qu'ils s'amuse en regardant les passants ; en cela, ils sont dans la même catégorie que les humains qui, un peu partout, nous regardent fixement par la fenêtre, mais qui ne nous remplissent d'indignation que lorsque nous remarquons qu'ils nous étudient » (p. 126).

pp. 62-64 Darwin

Darwin (1872) écrit : « Il y a bien des années, au Jardin zoologique, j'avais déposé un miroir sur le sol en face de deux jeunes orangs-outans, qui, pour autant que je sache, n'en avaient jamais vu un auparavant. D'abord, ils ont regardé leurs propres images avec la plus grande surprise, en modifiant souvent leur point de vue. Puis ils se sont approchés de plus près et ont gonflé leurs lèvres en direction de l'image, comme pour l'embrasser, exactement comme ils l'avaient fait l'un envers l'autre lorsqu'on les avait mis, quelques jours auparavant, dans la même pièce. Ils ont fait toutes sortes de grimaces, et ont pris différentes postures devant le miroir ; ils ont tâté et frotté sa surface ; ils ont placé leurs mains à diverses distances derrière lui ; ont regardé l'envers ; puis finalement ont eu l'air presque effrayé, se sont fâchés et ont refusé de continuer à regarder » (p. 140). Darwin (1998, orig. 1871) a écrit : « Certains naturalistes, parce qu'ils avaient été profondément impressionnés par les pouvoirs mentaux et spirituels de l'être humain, ont divisé la totalité du monde organique en trois royaumes, Humain, Animal et Végétal, attribuant de la sorte à l'homme un royaume particulier. Les pouvoirs spirituels ne peuvent pas être comparés ou classifiés par le naturaliste : mais il peut s'efforcer de montrer, comme je l'ai fait, que les facultés mentales de l'être humain et des animaux inférieurs ne diffèrent pas en espèce, bien qu'ils se distinguent immensément en degré. Une différence de degré, aussi importante qu'elle soit, ne justifie pas que nous placions l'être humain dans un royaume distinct... » (p. 152). La première citation dans le texte principal est de Darwin (1968, orig. 1859, p. 234). La citation sur les fourmis est de Darwin (1998, orig. 1871, pp. 152-153).

p. 65 Le canon de Morgan

Voir Morgan (1894, p. 53). Selon Griffin (1976) : « Le rasoir d'Occam et le canon de Morgan ont été tellement pris au sérieux depuis les années 1920 que les scientifiques comportementalistes ont été de plus en plus gênés à l'idée de supposer des états mentaux et des qualités subjectives chez les animaux. Lorsque ces termes s'immiscent dans notre discours scientifique, nombreux sont ceux qui se sentent penauds, et lorsque nous nous prenons à utiliser des termes tels que peur, douleur, plaisir ou d'autres du même genre, nous tendons à

protéger nos ego réductionnistes derrière une couverture de guillemets respectables » (p. 47).

pp. 65-66 Huxley

La citation est de Huxley (1923, pp. 105-106).

pp. 66-67 Primatologie japonaise

Asquith (1997) écrit : « On a noté en comparant des études japonaises ou occidentales certaines divergences liées aux différentes conceptions de la relation homme/animal. Les rapports japonais faisant état d'intentions, de personnalités et de vécu chez les animaux étaient, aux yeux de collègues occidentaux, fortement teintés d'anthropomorphisme. La rationalité jouant un rôle si central dans le débat occidental sur le caractère unique de l'humanité, il n'est guère surprenant que les arguments qui s'opposent le plus fortement à l'anthropomorphisme sont liés au fait d'attribuer de la raison à d'autres animaux. Le phénomène émotionnel, pour un Occidental, englobe un sous-ensemble d'assertions sur la rationalité et, comme mentionné plus haut, il n'existe pas d'accord universel à ce sujet, même parmi les scientifiques. Pour les chercheurs japonais, les questions sur la singularité du caractère rationnel des humains n'apparaissaient pas et leurs rapports étaient pleins de termes mentalistes. La manière de réagir des Occidentaux à un tel reportage, traité de non scientifique et par conséquent frappé d'exclusion, a résulté en un retard de plus de deux décennies sur les Japonais sur certains développements théoriques de la primatologie » (p. 29). De Waal (2001) écrit : « Lorsque les primatologues japonais se sont rendus en Afrique pour observer les grands singes dans leur habitat naturel, ils arrivaient avec un excellent entraînement et une approche bien à eux de recueillir des données avec persistance et sur une longue durée qui allait devenir la norme. Comme Goodall, ils habitaient leurs sujets d'étude à la présence humaine en les approvisionnant en nourriture. Des découvertes majeures furent faites par ces scientifiques, comme le fait que les chimpanzés vivent en groupes bien délimités, et qu'ils utilisent des outils astucieux qui, s'ils avaient été associés à des stades de l'humanité, les auraient qualifiés pour l'âge de la pierre » (p. 117). De Waal écrit à propos de la découverte de Sugiyama sur la pratique de

l'infanticide chez les singes entelles communs : « La découverte a été ignorée pendant environ dix ans, après quoi d'autres rapports d'infanticide ont fait surface, d'abord concernant d'autres primates et par la suite bien d'autres animaux – des lions et chiens de prairie aux dauphins et aux oiseaux. Je n'ai jamais été témoin d'autant d'agitation lors des congrès de primatologie que dans la période où l'infanticide commençait à devenir un thème d'intérêt croissant. Les rapports provoquaient de terribles engueulades, on les accusait de manque de preuves adéquates (la plupart de ces observations étant post-mortem) et il y avait un refus total de croire que des théories rapportant une heureuse fécondité pouvaient être utilisées pour expliquer l'annihilation de nouveau-nés » (pp. 184-185). Voir aussi Asquith (1986).

p. 67 Skinner

Skinner (1959) a écrit : « Pigeon, rat, singe, en quoi se distinguent-ils ? Cela n'a pas d'importance. Bien sûr, ces trois espèces ont des répertoires comportementaux aussi différents que l'est leur anatomie. Mais une fois admises les différences dans leurs façons de contacter l'environnement et leurs manières d'agir sur cet environnement, le reste de leur comportement montre des propriétés étonnamment similaires » (pp. 125-126).

p. 67 Thomas

La citation est de Thomas (1974, p. 12).

p. 68 Le rasoir d'Occam remis en question

Oreskes *et al.* (1994) écrivent : « Si deux théories sont empiriquement équivalentes, alors la seule manière de choisir entre elles est d'invoquer des motifs d'ordre non scientifique telles que la symétrie et l'élégance, ou des préférences d'ordre personnel, politique ou métaphysique... Le rasoir d'Occam est peut-être bien l'exemple le plus largement accepté d'une considération de ce type. Nombreux sont les scientifiques qui acceptent et appliquent ce principe dans leur travail, bien qu'il s'agisse d'un supposé purement métaphysique. Rien ne prouve de manière empirique que le monde soit réellement simple, ou que des explications simples aient plus de chance d'être vraies que des

explications complexes. Notre engagement en faveur de la simplicité est en bonne partie l'héritage de la théologie du dix-septième siècle » (p. 642-645). Hoffman *et al.* (1996) écrivent : « Encore et encore, le processus de la découverte scientifique révèle que ce que l'on pensait simple est en fait merveilleusement compliqué » (p. 123). L'informaticien et scientifique Geoffrey Webb a découvert que, neuf fois sur dix, les ordinateurs programmés pour des processus de prise de décision complexes donnent des résultats plus précis. Le rasoir d'Occam influence et limite ce que la science peut faire avec l'information » (Cité dans *Discover*, novembre 1996, p. 35). Le cosmologiste théoricien James Peebles (2003) écrit : « Chaque fois que nous formulons une hypothèse, nous choisissons la plus simple possible. Mais qu'est-ce qui oblige l'univers à être simple ? » (p. 70).

p. 68 L'anthropomorphisme réhabilité

Cenami Spada (1997) écrit : « Si les animaux sont placés dans la catégorie des machines, seule la terminologie employée pour décrire les machines semble alors appropriée... Si les animaux ne sont pas des machines, il nous faut étudier les similarités et les différences entre leurs comportements et les nôtres, et dans quelle mesure ils se distinguent entre eux. En faisant cela, nous nous référons inévitablement à notre expérience : à quoi d'autre pourrions-nous nous référer quand nous étudions les animaux ? » (pp. 43-44). La citation dans le texte principal est de Waal (2001, p. 40).

CHAPITRE 5

p. 71 Les abeilles peuvent maîtriser des concepts abstraits

Voir Giurfa *et al.* (2001), qui écrivent : « Nos résultats remettent en question la perspective selon laquelle les vertébrés, et en particulier les primates, seraient les seuls animaux capables de concevoir des concepts tels que "similitude" et "différence". Ils montrent aussi que les fonctions cognitives supérieures ne sont aucunement le privilège des vertébrés » (p. 932). Giurfa, interviewé par Davidson (2001), déclarait : « Je ne suis pas d'accord avec votre manière de catégoriser cela comme une intelligence de "bas niveau". En fait, cela serait plutôt

l'opposé ! (Dans le passé) les experts étaient nombreux à penser que ce type d'apprentissage – assimiler une règle abstraite, indépendante des stimuli utilisés – n'était possible que chez les primates et les êtres humains. Ici (dans cette expérience), nous montrons que cela n'est pas vrai. Le minicerveau d'une abeille peut aussi maîtriser des règles abstraites » (p. A-1).

p. 73 Les abeilles ne sont pas des machines

Giurfa (2004) écrit : « Les insectes ont été considérés habituellement comme de simples petites machines à réflexes. D'après cette vision particulière, leur comportement serait essentiellement gouverné par des réactions stéréotypées, laissant peu de place à des phénomènes de plasticité. Cette vision, qui exclut donc la possibilité de s'attaquer à des problématiques liées à la cognition animale sur les insectes, a inspiré un nombre important de travaux en robotique. Elle ignore, cependant, que les insectes, comme la plupart des animaux, traitent des informations de leur environnement de façon adaptative et flexible, ce qui leur permet de répondre à un environnement changeant. Elle ignore aussi le succès évolutif remarquable des insectes, succès qui leur a permis de pénétrer et conquérir pratiquement tous les habitats disponibles de la planète, et de surpasser tous les organismes multicellulaires en nombre absolu et en nombre d'espèces. Ces faits suggèrent que le cerveau de l'insecte doit être capable de fournir des solutions "intelligentes" à une vaste gamme de problèmes écologiques afin d'assurer un tel succès. Ces problèmes sont similaires ou identiques à ceux auxquels d'autres vertébrés, les humains parmi ces derniers, doivent se confronter dans leurs environnements respectifs » (p. 83).

Voir aussi Menzel et Giurfa (2001, p. 62).

p. 76 L'intelligence d'essaim

Leslie (2002) : « Les insectes démontrent ce que les informaticiens des sciences appellent l'"intelligence d'essaim" : chaque individu est plutôt stupide, mais les actions collectives d'un de leur groupe génèrent un comportement apparemment astucieux, tout comme un cerveau reposant sur l'efficacité de millions de simples neurones. Par exemple, si vous placez un obstacle sur le chemin d'une colonne de

fourmis fourragères, elles trouveront la manière la plus directe de contourner l'obstacle » (p. 45).

p. 76 *Emergence*

Johnson (2001) écrit dans son livre *Emergence : The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software* [Émergence : les vies connectées des fourmis, des cerveaux, des villes et de la programmation informatique] : « La simplicité du langage des fourmis – et la relative stupidité des fourmis prises individuellement – est, comme disent les programmeurs en informatique, une caractéristique et non une bogue. Les systèmes émergents peuvent devenir peu maniables lorsque leurs composantes deviennent excessivement compliquées. Il vaut mieux construire un système interconnecté avec de multiples éléments simples, et laisser le comportement plus sophistiqué s'engager de lui-même... Avoir des agents individuels capables d'évaluer directement l'état général du système peut représenter une sûreté dans la logique de l'essaim, pour la même raison que l'on ne voudrait pas que l'un des neurones de son cerveau devienne brusquement sensible » (p. 78). Il ajoute : « Une distinction importante doit cependant être faite entre les colonies de fourmis et les villes, distinction qui tourne autour de la question de volition. Dans une colonie de fourmis moissonneuses, les fourmis à titre individuel sont relativement stupides, elles suivent des lois élémentaires sans rien qui puisse se comparer au libre arbitre. Comme nous l'avons vu, l'intelligence de la colonie repose en fait sur la stupidité de ses composantes : une fourmi qui soudainement commencerait à prendre une décision consciente sur, disons, le nombre de fourmis chargées de la voirie serait une chose désastreuse. On peut facilement voir que le scénario ne s'applique pas du tout aux colonies humaines : les villes sont des organismes de niveau supérieur, mais leurs parts constituantes – les humains – sont bien plus intelligentes et plus réfléchies que les fourmis. Nous décidons consciemment où nous voulons vivre ou faire nos achats ou nous balader ; nous ne sommes pas simplement dirigés par des gènes et des phéromones. Et par conséquent, les circuits sociaux que nous formons tendent à être substantiellement plus complexes que ceux qui régissent le monde des fourmis » (p. 97).

pp. 79, 82 La douleur chez les insectes

Wigglesworth (1980) écrit : « Peut-être que le résultat le plus significatif obtenu en biologie moléculaire au cours des derniers vingt-cinq ans, c'est le lien établi entre nous et les "animaux inférieurs". Ils sont devenus si proches de nous. En fait, aujourd'hui on a le même sentiment de gêne en parlant d'animaux "inférieurs" que l'on a en se référant aux "classes inférieures". Je pense que nous devrions aborder le problème de la douleur en considérant l'insecte comme un petit être humain... En majorité, les insectes se comportent comme si leur tégument était insensible à la douleur. Ils ne montrent aucune manifestation de douleur lorsqu'on coupe leur cuticule : ils ne peuvent pas crier, mais ils ne tressaillent pas ou ne s'enfuient pas. Tandis qu'une prise avec un forceps nous fait très mal, une chenille traitée de la même manière ne montre aucun signe prolongé d'agitation... Je crois que la plupart des manipulations auxquelles nous soumettons des insectes ne leur causent pas de douleur... Mais je suis convaincu que les insectes peuvent ressentir une souffrance s'ils reçoivent le stimulus approprié. Une température élevée est l'exemple le plus évident, et peut-être les chocs électriques. Pour des raisons pratiques, pourquoi ne pas admettre qu'il en est ainsi ? La plupart des opérations sur des insectes sont en fait facilitées si l'insecte a été anesthésié » (pp. 8-9). Bekoff (2002) écrit : « Si, pour les chercheurs, il n'est pas certain que les animaux ressentent la douleur, les preuves sont cependant nombreuses que des animaux qui, pour bien des gens, ne pouvaient pas ressentir la souffrance, en fait souffrent. Les poissons, par exemple, ont des neurones semblables à ceux qui sont associés à la perception de la douleur chez d'autres animaux. Les poissons réagissent aux stimuli douloureux d'une manière qui ressemble à celle des autres animaux, y compris les humains. Même certains invertébrés possèdent des cellules nerveuses qui sont associées au sentiment de douleur chez les vertébrés. On ignore si certains insectes ressentent la douleur, mais comme cela n'est pas impossible, certains pensent qu'il faudrait leur accorder le bénéfice du doute » (pp. 143-144).

CHAPITRE 6

p. 85 Les plantes se meuvent

Attenborough (1995) décrit une dionée en action : « Un insecte, attiré par le nectar ou la couleur rouge, peut parcourir la surface d'un lobe en toute impunité, à condition de ne pas toucher les poils, car ils sont les déclencheurs. En frôler un n'est pas nécessairement mortel, car rien ne se passera immédiatement. Mais si l'insecte frôle à nouveau le même ou un autre sur la feuille pendant les vingt secondes qui suivent, alors – avec une rapidité qui peut effaroucher le botaniste, habitué à des réactions plus pondérées de ses sujets d'observation – les deux lobes se ferment d'un coup. La réaction ne prend pas plus d'un tiers de seconde. Le stimulus qui déclenche la réaction est électrique, comme celui du sensible mimosa, mais le mécanisme exact qui régit la fermeture demeure encore maintenant mal compris » (pp. 84-85).

p. 86 Définition de « animal »

Le *Concise Oxford Dictionary* définit un animal comme « un organisme vivant qui se distingue spécifiquement d'une plante en se nourrissant de matière organique, doté d'organes des sens spécialisés et d'un système nerveux, et capable de se déplacer et de réagir à des stimuli ». Le *Petit Robert* donne deux définitions, la première incluant l'homme, la seconde l'excluant : « I. Être vivant organisé, doué de sensibilité et de motilité, hétérotrophe [qui se nourrit de substances organiques, ne peut effectuer lui-même la synthèse de ses éléments constitutants]... II. Être vivant non végétal, ne possédant pas les caractéristiques de l'espèce humaine (langage articulé, fonction symbolique, etc.). »

p. 87 Les éponges

Leys et Mackie (1997) écrivent : « Les éponges sont apparues très tôt dans l'évolution des métazoaires. Elles n'ont pas de système nerveux, mais certaines répondent à une stimulation en produisant des contractions locales et un groupe d'entre elles, les "éponges de verre", manifeste des arrêts coordonnés des flagelles, lesquels produisent le courant nourrissant. Nous montrons ici que ces arrêts sont coordonnés par des impulsions électriques qui se propagent. Cela constitue, à

notre connaissance, la première observation de signalisation électrique chez les éponges » (p. 29). Voir aussi Leys *et al.* (1999).

p. 88 Les créatures de type hydre à l'origine du développement de la tête

Bhattacharjee (2003) écrit : « En recherchant les origines de la tête, des scientifiques ont identifié des gènes chez les coraux, les anémones de mer et les hydres qui sont semblables aux gènes responsables du développement de la tête chez des animaux supérieurs telles les mouches et les souris. L'étude de tels gènes homologues à travers les espèces, dont les séquences de protéines coïncident étroitement, est une technique standard utilisée par les chercheurs pour retracer l'ascendance de traits physiques et comportementaux. Lors d'expériences sur des hydres, le Dr Brigitte Galliot et ses collègues de l'université de Genève ont étudié des gènes qui étaient similaires aux gènes du développement de la tête chez la mouche drosophile. Ils ont coupé l'extrémité d'une hydre et contrôlé comment se manifestaient les protéines spécifiques régulées par ces gènes tandis que l'organisme régénérerait sa partie perdue. D'après les protéines activées pendant le processus de régénération, les chercheurs ont conclu que les gènes étaient impliqués dans la formation de la partie supérieure de l'hydre, y compris l'organisation des cellules nerveuses... Ces découvertes suggèrent que la tête chez les animaux supérieurs pourrait avoir évolué à partir d'une structure de type bouche semblable à la partie supérieure du corps des cnidaires, qui consiste en un réseau de nerfs entourant une ouverture buccale. Selon le Dr Galliot, cette conclusion dans une acception élargie pourrait indiquer que l'origine de la tête a été provoquée par le besoin de s'alimenter activement » (p. 2).

p. 89 Escargots

Selon le Muséum national d'histoire naturelle (1999) : « L'escargot possède plusieurs milliers de neurones. Mais les impulsions circulent à un rythme très lent dans son système nerveux. Plusieurs secondes peuvent s'écouler entre le stimulus externe et la réaction musculaire. En ce qui concerne la vue, les quelque deux mille capteurs sur chacun de ses deux yeux lui permettent de détecter des ombres qui bougent

lentement... Le monde de l'escargot est dépourvu de formes, de couleurs et de mouvements rapides » (pp. 14-15).

pp. 89-90 Poulpes

Linden (2002) écrit : « La caractéristique que le poulpe partage avec nombre d'animaux intelligents est le besoin d'aller chercher des aliments très variés dans des endroits divers et cachés » (p. 47). Il ajoute : « Si l'on songe aux rebuffades des poulpes, à leurs accès de colère et à leurs raids vers des aquariums voisins, alors il faut revisiter la relation entre la taille du cerveau et l'intelligence, et réinvestiguer les différents types d'intelligence, ainsi que les influences qui rendent un animal plus intelligent qu'un autre. Ce qui n'est pas une mauvaise chose. L'énigme du poulpe pourrait ou non conduire à une nouvelle approche de l'intelligence animale, mais il est certainement utile de se pencher sur la question » (p. 54).

p. 91 Les éléments communs entre les nématodes et les humains

Wade (1997) écrit au sujet du nématode *C. elegans* : « Une autre surprise a été de découvrir l'étroitesse de sa parenté génétique avec les humains. La plupart des gènes humains découverts à ce jour se révèlent avoir des gènes équivalents chez le ver, dont certains si semblables dans leur structure chimique qu'ils doivent avoir évolué à partir du même ADN parent chez le lointain ancêtre commun aux vers et aux humains. Même après tous ces éons, la parenté est suffisamment réelle pour que, dans de nombreux cas, les biologistes aient pu introduire la version humaine d'un gène à la place de celui du ver. *C. elegans* se satisfait parfaitement de cette pièce de rechange humaine » (p. B9).

pp. 93-94 Les origines humaines

Voir McDougall *et al.* (2005), qui estiment l'âge de plusieurs fossiles de l'*Homo sapiens* trouvés en Éthiopie à quelque 195 000 ans ; ce sont les plus anciens restes humains apparentés à l'humain moderne découverts à ce jour. Stringer (2003) écrit : « Il existe deux théories principales sur les origines de *H. sapiens*. Quelques chercheurs soutiennent encore l'hypothèse "multirégionale", arguant que les caractéristiques anatomiques de l'humain moderne se sont élaborées parmi

des populations d'hominidés dispersées géographiquement et au cours de la période pléistocène (débutant il y a environ 1,8 million d'années pour finir il y a quelque 12 000 ans). Mais la plupart ont désormais adopté la version d'un modèle "venu d'Afrique", bien qu'il y ait des divergences d'opinion sur la complexité des processus d'origine et de dispersion, et sur la quantité de métissages qui a pu se produire par la suite avec des humains archaïques (non modernes) à l'extérieur de l'Afrique. En Afrique même, des incertitudes entourent encore le mode d'évolution de l'humain moderne – à savoir si celle-ci s'est produite de manière progressive et régulière ou par à-coups » (p. 692). Kuper (1994) écrit : « Le volume cérébral de l'*Australopithecus* se situait entre 375 ml et environ 485 ml. Chez l'*Homo habilis*, le volume moyen était d'environ 750 ml. À partir de l'*Homo erectus*, le volume cérébral s'est accru progressivement depuis quelque 800 ml jusqu'au standard de l'*Homo sapiens* moderne, qui est d'environ 1 400 ml » (p. 24).

pp. 94-95 Les Néandertaliens et l'*Homo sapiens sapiens*

Fagan (1990) écrit : « Les hommes de Neandertal avaient les épaules larges et une musculature puissamment développée du haut des bras, beaucoup plus puissante que celle de l'*Homo sapiens sapiens*. Leurs doigts avaient une forme identique à celles des hommes modernes, mais les pouces néandertaliens étaient capables d'exercer une force exceptionnelle lors de prises ordinaires. Par contraste, les premiers humains d'anatomie moderne avaient une poigne bien moins puissante. La même différence de robustesse se retrouve dans les membres inférieurs. Si on les compare aux humains modernes, les Néandertaliens avaient une ossature des jambes beaucoup plus robuste et des genoux puissants, qui leur permettaient de générer une force considérable autour du genou... Cette robustesse a joué un rôle capital dans l'adaptation biologique des hommes de Neandertal. Elle leur permettait de générer et d'entretenir dans la durée une force supérieure et au quotidien, des niveaux d'activité plus intenses que la plupart des humains modernes. Pourtant, le maintien d'un corps pareil était coûteux en termes d'énergie, considération importante pour des populations vivant de chasse et de cueillette, qui comme la plupart des groupements humains, étaient proches des limites de leurs ressources

énergétiques » (p. 80). Hoffeecker (2002) écrit : « Il y a suffisamment d'évidences négatives que les peaux n'étaient pas utilisées par les Néandertaliens pour se fabriquer des habits comparables à ceux des chasseurs-récolteurs modernes des régions arctiques... Plus importante encore, la totale absence d'aiguilles en os dans les sites moustériens, malgré la préservation et la récupération de petits fragments d'os provenant de plusieurs localités. Par contraste, des aiguilles percées en os ont été retrouvées en Europe de l'Est et en Sibérie dans les premiers campements d'humains modernes » (p. 107). Il ajoute : « La prédominance de la viande dans le régime alimentaire est indiquée par des analyses montrant des isotopes stables dans le collagène des os de restes de squelettes néandertaliens en Europe occidentale et centrale. Que la viande ait été une ressource alimentaire de première importance peut également se déduire des preuves évidentes de chasse aux grands mammifères dans des sites néandertaliens en Europe et au Moyen-Orient » (p. 133). Et : « Aussi bien en termes du nombre de types et de composantes d'ustensiles individuels, la complexité des outils et des armes des hommes de Neandertal est significativement inférieure à celle des chasseurs-cueilleurs des latitudes nordiques (et plus typique des groupes modernes dans les régions tempérées et équatoriales)... Tout aussi important, le manque apparent de technologie – que l'on trouve chez les humains modernes – pour se protéger du froid et conserver la chaleur. Bien que des analyses de l'usure microscopique des outils en pierre indiquent que les Néandertaliens raclaient souvent des peaux (spécialement dans des sites d'Europe orientale), lesquelles étaient probablement utilisées comme couvertures et habillements grossiers, il n'y a pas de preuve absolue d'habits coupés dans la fourrure ou d'abris avec une isolation. La fonction critique de ces derniers étant sans doute qu'ils fournissent une protection contre les températures extrêmement basses sous une forme qui permettent aux humains de fouiller pour de la nourriture et d'accomplir d'autres tâches économiques importantes (telle la fabrication d'outils) » (p. 135). Stringer (2003) écrit, en référence à des fossiles récemment découverts en Éthiopie : « Les nouvelles découvertes de Herto représentent une forme primitive de l'*Homo sapiens*. Cela reflète l'opinion selon laquelle les Néandertaliens et les humains modernes dérivent tous deux d'une espèce ancestrale très répandue appelée

H. heidelbergensis. Toutefois, il semble de plus en plus évident que les caractéristiques des Néandertaliens ont des racines profondes en Europe, de sorte que l'on peut faire remonter l'existence de l'*H. Neanderthalensis* à 400 000 ans. Les racines de l'*H. sapiens* pourraient être tout aussi profondes en Afrique » (p. 693).

p. 95 Espèces disparues avec l'arrivée de l'*Homo sapiens sapiens*

Ridley (1996) écrit : « La culpabilité de l'espèce humaine ne fait aucun doute. Prenez Madagascar, où au moins dix-sept espèces de lémurins (tous les lémurins diurnes d'un poids supérieur à dix kilogrammes, dont l'un aussi grand qu'un gorille), et les remarquables oiseaux éléphants – dont le plus grand pesait 1 000 livres [quelque 455 kg] – se sont éteints en l'espace de quelques siècles après la première colonisation de l'île vers 500 av. J.-C. Les Polynésiens ont reproduit ce processus à travers tout le Pacifique, et de façon la plus spectaculaire il y a juste six cents ans en Nouvelle-Zélande, où les premiers Maoris s'installèrent et dévorèrent la totalité des douze espèces d'oiseaux moa géants (dont le plus grand pesait un quart de tonne)... À Hawaii, nous savons maintenant qu'il existait environ cent espèces d'oiseaux hawaïens d'un type unique, dont beaucoup d'oiseaux coureurs de grande taille. Puis, vers 300 av. J.-C., un grand mammifère appelé humain arriva. En un court laps de temps, pas moins de la moitié des oiseaux hawaïens avaient disparu... Il fallut un peu plus longtemps pour anéantir les grands mammifères australiens. Mais peu après l'arrivée des premiers peuplements humains en Australie, il y a probablement 60 000 ans, une faune entière d'animaux de grande taille disparaissait – rhinos marsupiaux, diprotodontes géants, lions marsupiaux, cinq espèces de wombats géants, sept sortes de kangourous à visage court, huit espèces de kangourous géants, un oiseau coureur de deux cents kilos. Même l'espèce de kangourous qui a survécu a diminué radicalement en taille, réponse évolutionnaire classique pour contrer une forte prédation » (pp. 218-219).

p. 96 « Nature »

Le *Concise Oxford Dictionary* définit la nature comme « les phénomènes du monde physique au sens collectif, qui incluent les plantes, les animaux et le paysage, par opposition aux humains ou aux créations

humaines. » Selon *Le Petit Robert*, la nature est : « Ce qui, dans l'univers, se produit spontanément, sans intervention de l'homme ; tout ce qui existe sans l'action de l'homme. L'ensemble des choses perçues, visibles, en tant que milieu où vit l'homme. » Se désengager de la « nature » permet de s'en faire un concept. Ingold (1997) écrit : « Ce que je peux faire, et que les animaux supposément ne peuvent pas, est de prendre un certain recul par rapport à la dimension physique de l'existence, et de considérer la vie dans cette dimension comme un spectacle. C'est ce spectacle, tel qu'il se présente à un sujet désengagé de lui, auquel nous nous référons communément par le concept de "nature". En effet, un monde ne peut être "nature" que pour un être qui n'y appartient pas. Si le concept de nature implique un désengagement du monde, alors la possibilité de désengagement, à son tour, devient la marque de la condition humaine. La singularité humaine est supposée tenir précisément à ceci : alors que les différences entre les espèces animales sont des différences *dans* la nature, les humains s'en différencient en étant à moitié dans la nature, à moitié en dehors d'elle. Nous sommes *dans* la nature dans la mesure où nous sommes des organismes dotés de corps, qui dépendent d'une consommation de matière et d'énergie pour leur entretien et leur reproduction. Nous sommes *hors* de la nature dans la mesure où nous sommes des personnes dotées d'un intellect, avec lequel nous sommes à même de réfléchir, et nous représenter les circonstances de notre expérience corporelle. Ce processus réflexif, selon la sagesse anthropologique conventionnelle, consiste à investir l'expérience de sens, et la source de tout sens, c'est la culture » (p. 113).

pp. 96-97 La taille du cortex humain

Passingham (2002) écrit : « Il y a longtemps qu'on prétend que le point crucial de l'intelligence, c'est la quantité absolue de tissu (ou nombre de neurones) supérieure à celle qui s'explique par la relation générale entre taille cérébrale et taille corporelle. Des corps plus grands nécessitent des cerveaux plus grands, et pourtant, avec une taille corporelle donnée, la taille du cerveau diffère selon différents groupes de mammifères, les primates disposant de cerveaux spécialement élargis. Le néocortex humain est plus de trois fois supérieur à celui qu'on pourrait s'attendre à trouver chez un primate de taille

corporelle identique. Même si la présente étude montre que les lobes frontaux humains ne diffèrent pas en proportion du néocortex, leur taille est plus de trois fois supérieure que ce qu'on pourrait s'attendre à trouver chez un hypothétique grand singe de poids corporel identique. Une telle différence doit assurément jouer un rôle essentiel dans notre capacité de planifier et de raisonner » (pp. 191-192). Les citations dans le corps du texte sont de Carter (1998, p. 35) et Greenfield (2000, p. 164).

CHAPITRE 7

pp. 101-102 Les plantes et leurs appels à l'aide

Whitfield (2001) écrit : « Les plantes ne peuvent pas s'enfuir devant le danger, mais elles ne se laissent pas non plus dépérir par soumission. Tout en secrétant une variété d'agents chimiques toxiques pour dissuader les herbivores, elles peuvent aussi trouver de l'aide à un étage supérieur de la chaîne alimentaire, en libérant des produits volatils qui attirent les prédateurs friands des créatures qui sont en train de les manger... Des chercheurs ont calculé que, en libérant des agents volatils, les plantes de tabac parviendraient à réduire de plus de 90 % le nombre d'herbivores qui les attaquent » (pp. 736-37). Buhner (2002) écrit : « En réponse aux attaques dévastatrices de pucerons, certaines plantes libèrent à partir de leurs feuilles un arôme volatil, E-beta-fanesene. Cet agent imite une phéromone d'alarme des pucerons, qui les avertit de l'approche de prédateurs et les engage à fuir la plante. Les haricots de lima infestés d'acariens secrètent un mélange d'huiles volatiles (terpenoïdes) qui attirent d'autres insectes prédateurs mangeurs d'acariens. Les plantes peuvent percevoir exactement quel genre de pucerons banquettent sur elles en analysant leurs sécrétions salivaires. Chaque espèce de plante produit alors un différent mélange de volatils selon le type d'acarien en train de la manger. Ce mélange attirera *exclusivement* le prédateur amateur de ce type d'acarien. Les plants peuvent également informer les autres plants de haricots de lima, non infestés. Ceux qui reçoivent la communication se mettent alors aussi à produire l'agent chimique attirant les insectes prédateurs, réduisant de la sorte la progression des acariens qui les mangent »

(p. 162). Marcel Dicke, qui a été le premier à étudier les pucerons et les haricots de lima, est cité par Russell (2002) : « Aujourd'hui, la communauté scientifique s'accorde sur le fait que les plantes parlant à leurs gardes du corps est caractéristique de la plupart des espèces de plantes, sinon toutes... Si les plantes parlent à leurs gardes du corps, alors pourquoi leurs voisines ne devraient-elles pas bénéficier du message et le faire passer ? Le thème de la communication de plante à plante est revenu à l'ordre du jour, et les évidences s'accumulent » (p. 49). Ryan (2001) écrit : « Les volatils chimiques sont le langage des plantes. La senteur d'une floraison fraîche, d'un bon café ou d'un bon cru – les messages des plantes aux humains peuvent être séduisants. Mais les plantes ne dépensent pas une énergie précieuse en produisant ces agents chimiques simplement pour plaire aux humains, et la plupart des volatils ont des fonctions plus sérieuses. Certains, par exemple, sont importants pour communiquer l'information à des insectes particuliers, cruciale pour la survie de la plante, et souvent des insectes aussi... La nuit, les plantes de tabac attaquées par des chenilles émettent un mélange spécifique de volatils chimiques. Les papillons de nuit interprètent cela comme le signal qu'ils ne sont pas bienvenus à pondre leurs œufs à cet endroit. Mais ce n'est pas seulement la plante qui bénéficie de ces émissions nocturnes. Tandis que la plante fabrique des agents toxiques pour éloigner les chenilles, et appelle peut-être à son aide d'autres insectes prédateurs, il est avantageux pour les papillons de nuit de se tenir à distance » (p. 530). Voir Trewavas (2002) pour l'article cité au premier paragraphe du texte principal.

p. 103 Stenhouse et sa définition de l'intelligence
Voir Stenhouse (1974, p. 31).

pp. 104-105 Palmier des Andes et lierre terrestre

Trewavas (2003) écrit : « Le palmier des Andes se construit à partir d'un tronc qui lui-même s'élève sur des racines aériennes. Lorsque des voisins compétitifs approchent, une action d'évitement a lieu pour ramener toute la plante en pleine lumière solaire. Cette "marche" s'accomplit par la pousse de nouvelles racines dans la direction du mouvement tandis que celles restées derrière meurent. Qu'il s'agisse

là d'un comportement intentionnel est tout à fait évident » (p. 15). Phillips (2002) écrit : « Les racines peuvent suivre des minéraux ou des gradients d'humidité dans le sol, mais elles ne prennent pas toujours la voie la plus directe. Hutchings et ses collègues ont étudié le comportement fourrager d'une herbe au sol appelée *Glechoma* (lierre terrestre). Quand elles se trouvent en sol favorable, ces herbes développent plus de branches, de pousses et de feuilles. Elles forment beaucoup plus rapidement des bouquets de racines pour exploiter pleinement la parcelle. Mais quand elles sont sur un sol plus pauvre, elles s'étendent plus loin et plus vite, comme si elles s'échappaient, et leurs rhizomes sont généralement plus minces et le développement de branches moins fréquent. Cela signifie que les nouvelles pousses croissent plus loin de la plante parente et recherchent activement de nouvelles parcelles riches en ressources. Et la quantité de croissance n'est pas seulement relative à la qualité singulière d'une parcelle, mais aussi à la qualité des sols environnants. Non seulement cela, mais des expériences ont montré que les plantes apparentées peuvent sentir la présence de racines compétitrices et se mettre en route vers d'autres zones – même quand il y a encore des nutriments dans les parages » (p. 41). Et Wijesinghe et Hutchings (1999) écrivent : « Pour conclure, cette étude révèle une filiation étroite entre la disponibilité des ressources et la mise en place de structures destinées à en tirer parti dans les conditions les plus hétérogènes, ainsi qu'une plus grande spécialisation morphologique quand les ressources étaient distribuées dans de grandes parcelles dont la qualité était contrastée. À l'évidence, *Glechoma hederacea* fait preuve d'une perception aiguë de la qualité de son environnement, à laquelle la plante répond en adaptant son système d'alimentation et en modifiant de cas en cas sa morphologie » (p. 871).

p. 106 Les plantes font face à une grande variété d'environnements

Trewavas (1999a) écrit : « Quels sont les problèmes particuliers exigeant des plantes un comportement intelligent ? Les jeunes plants sauvages doivent se développer à l'endroit où ils tombent. L'environnement extérieur recèle au moins 17 composantes distinctes dont l'intensité peut varier d'une minute à l'autre, ce qui a pour résultat de générer une variété presque infinie d'états environnementaux. Il existe

probablement autant de signaux internes à la plante lesquels, soit traversent la membrane plasmique, soit sont perçus à son niveau. En répondant intelligemment à une multiplicité de signaux, les plantes sont passées maîtres en plasticité phénotypique et physiologique, ce qui leur permet de s'adapter aux circonstances variables qui les entourent. Cette plasticité comportementale demande à coup sûr un système cellulaire d'une grande puissance d'évaluation pour que les plantes soient à même de survivre dans le marécage de signaux dans lequel elles se trouvent. Le rôle omniprésent du calcium dans la transduction des signaux à travers les cellules végétales donne à penser que le calcium est à la base du système intelligent contrôlant la plasticité » (p. 5).

pp. 106-107 La cuscute prend des décisions intelligentes

Selon Kelly (1992), qui a mené la recherche originale démontrant l'existence d'un choix actif chez les plantes de cuscute : « On ignore si la capacité, potentiellement adaptative, de choisir des ressources est présente chez toutes les plantes ou si elle est dictée par la capacité de clonage ou de parasitisme de la cuscute. Toutefois, la plus grande efficacité dans l'acquisition des ressources que permet le "choix" modulaire pourrait être bénéfique pour n'importe quelle plante, qu'elle soit un parasite, un clone ou autre chose... Les résultats présentés ici montrent bien sûr aussi un choix actif de la part d'une plante parasite et met en relief les moyens par lesquels on peut tester le choix d'autres angiospermes parasites » (p. 12196). Gilroy et Trewavas (2001) écrivent : « Les plantes peuvent prendre des décisions sur l'exploitation des ressources alimentaires avant un bénéfice nutritif concret immédiat. La cuscute, une plante parasite, peut sentir le niveau de nutriments en circulation dès qu'elle touche un hôte putatif. En une heure, elle "décide" si cela vaut la peine d'initialiser un programme de développement, qui implique l'enroulement des pousses autour de l'hôte et la formation d'*haustoria* plusieurs jours plus tard. Le rejet de l'hôte putatif n'est pas rare. Une fois que les *haustoria* ont pénétré le système vasculaire de l'hôte, les nutriments sont atteints et mis à profit pour la croissance du parasite. Il est remarquable d'observer que la quantité de spires dont le parasite entoure son hôte reflète avec une certaine exactitude les nutriments contenus dans l'hôte et le bénéfice consécutif

probable en ressources de croissance. Ce qu'il est alors nécessaire de prendre en compte dans les études portant sur la transduction de signaux dans les cellules végétales, c'est la capacité d'une prise de décision "intelligente" ; l'évaluation du choix correct entre plusieurs solutions envisageables » (p. 308).

pp. 107-108 Le calcium et le processus d'apprentissage des plantes et des neurones

Trewavas (1999b) écrit : « Dans une plante non stimulée, le flux d'information en provenance d'un signal à travers les voies qui dépendent des ions de calcium Ca_2^+ sera lent ; dans une plante stimulée, le flux d'information à partir du même signal sera infiniment plus rapide. Quelle que soit la manière dont on considère ces données, elles représentent une forme d'apprentissage cellulaire... Les réseaux de transduction des signaux présentent des propriétés semblables à celles des réseaux neuronaux, ce qui permet de tirer sans peine des parallèles en termes de modalité d'apprentissage. Les réseaux neuronaux apprennent en augmentant le nombre de connexions (et la force des connexions) entre les neurones représentant la voie choisie pour connecter signal et réponse. Le résultat de l'apprentissage (renforcement) est d'accélérer les taux du flux d'information entre le signal et la réponse. Élever la quantité d'ions de calcium dans la transduction est analogue à augmenter le nombre de connexions dans le réseau neuronal. L'augmentation du flux d'information qui en résulte représente une sorte d'apprentissage cellulaire. Cet apprentissage cellulaire, accompagné par la mémoire enregistrée dans les systèmes de transduction des signaux, laisse supposer une forme inattendue d'intelligence cellulaire » (p. 4218). Voir Gilroy, Read et Trewavas (1990) pour la recherche initiale sur le rôle du calcium dans les cellules végétales.

p. 109 La méthode de Trewavas pour trouver des idées

Beveridge (1950) écrit dans son livre *The Art of Scientific Investigation* [l'art de l'investigation scientifique] : « La condition préalable essentielle, c'est la contemplation prolongée du problème et des données jusqu'à ce que l'intellect en soit saturé. Il faut que cette phase soit investie d'un profond intérêt pour la question et du désir d'y

trouver une solution. L'intellect doit travailler consciemment pendant des jours sur le problème pour que le subconscient s'y mette à son tour... À ces fins, il est important que l'esprit soit libre d'autres problèmes ou intérêts en demande d'attention, et en particulier, des soucis d'ordre privé... Une autre condition favorable, c'est d'être à l'abri des interruptions ou même de la crainte d'être interrompu, ou de toute influence détournant l'attention, telle une conversation intéressante à portée d'oreille ou des bruits soudains et excessivement sonores... La plupart des gens trouvent que des intuitions sont plus à même de surgir pendant un moment d'oisiveté apparente et d'abandon temporaire du problème après des périodes de travail intensif. Pour certains, les occupations légères ne demandant aucun effort mental, tels se promener dans la campagne, prendre un bain, se raser, se rendre à son travail ou en revenir, représentent des moments particulièrement favorables à l'apparition d'intuitions... D'autres trouvent que d'être étendu au lit est la condition idéale et certaines personnes délibérément passent en revue le problème avant de s'endormir, et d'autres encore avant de se lever le matin » (p. 76).

CHAPITRE 8

p. 115 Myxomycètes

Stephenson et Stempen (1994) écrivent : « Le nom de moisissures visqueuses, ou myxomycètes, tels qu'on les appelle en biologie, peut ne pas être très attirant, mais les membres du groupe produisent des pseudo-champignons (*fruiting bodies*) qui exhibent des formes et des couleurs incroyablement diverses et sont souvent des créatures de grande beauté... Les biologistes ont depuis longtemps été intrigués et rendus perplexes par les myxomycètes, car ils possèdent à la fois des caractéristiques propres aux animaux et d'autres propres aux champignons. Le pseudo-champignon et les spores qu'ils produisent ressemblent à ceux de nombreux champignons, mais certains de leurs autres attributs, dont la capacité de se mouvoir, sont généralement associés aux animaux. Pendant la majeure partie de sa vie, le myxomycète existe sous la forme d'une mince masse de protoplasme indépendant. Parfois, cette masse est longue de plusieurs centimètres, et comme son

nom populaire de moisissure visqueuse le suggère, visqueuse et gluante au toucher. La masse de protoplasme, appelée *plasmodium* (au pluriel *plasmodia*), peut changer de forme et ramper lentement sur le substrat sur lequel elle se trouve, d'une manière très similaire à une amibe géante. Tout en se déplaçant, elle se nourrit en ingérant des bactéries et de minuscules morceaux de matière organique, autre caractéristique animale » (pp. 13-14). Zimmer (1998) décrit la moisissure visqueuse multicellulaire *Dictyostelium* en action : « Plutôt que de ramper ci ou là au hasard, les amibes commencent à se diriger les unes vers les autres grâce à un système de propulsion interne qui procède par ondulations. Plus de 100 000 d'entre elles, parfois, convergent en une masse tourbillonnante. Et ensuite, chose remarquable, la masse elle-même commence à agir comme si elle était un seul organisme. Elle s'étire en forme de limaçon pointu de la taille d'un grain de sable et se met en mouvement. Elle ondule en direction de la surface du sol, explore des tout petits grains de boue, et fait demi-tour quand elle atteint le fond d'une impasse. Ses mouvements sont lents – un jour pour parcourir 2,5 cm – mais dans un film ralenti... ses mouvements délibérés évoquent de façon inquiétante une créature *unique* plutôt que *plurielle*. Après plusieurs heures, le limaçon *Dictyostelium* se transforme encore une fois. Une de ses extrémités rejoint l'autre bout. La masse visqueuse se redresse une deuxième fois, et maintenant certaines amibes produisent des bribes de cellulose. Ces amibes meurent au cours du processus, mais leur sacrifice permet à la masse de se transformer en un fin pédoncule, au sommet duquel il y a un globe, gonflé d'amibes vivantes, dont chacune se couvre d'un manteau de cellulose et devient une spore dormante. Sous cette forme, la colonie va attendre jusqu'à ce que quelque chose – une goutte d'eau de pluie, un ver passant par là, la patte d'un oiseau – entraîne avec elle les spores et les emmène dans un endroit riche en bactéries où elles peuvent sortir de leurs coquilles et recommencer à nouveau leur vie » (p. 88).

pp. 116-117 Comment le myxomycète trouve l'issue d'un labyrinthe

Nakagaki (2001b) écrit : « Au Japon, c'est une insulte commune de traiter quelqu'un d'"unicellulaire", ce qui signifie une capacité mentale minimale de l'objet de la remarque. Mais cette manière d'abaisser

pourrait perdre à l'avenir de son mordant, parce que notre recherche a démontré que le myxomycète est capable de résoudre un labyrinthe et d'autres problèmes d'optimisation combinatoire... Alors qu'il n'a pas de système nerveux, de jambes ou d'yeux, le plasmodium est quand même capable de déplacer sa masse vers un endroit où trouver de la nourriture. Les excentricités singulières de cet animal d'apparence étrange m'ont fourni suffisamment de matériel pour plusieurs comptes-rendus de recherche, sans même avoir moi-même gagné aucune lumière précise sur son comportement. Nous avons donc continué à l'observer de près. C'était il y a environ quatre ans, alors que je ne faisais que cultiver et observer le plasmodium, que l'ingéniosité inattendue et surprenante dont ces créatures font preuve m'a donné l'idée de publier ce que nous avons appris » (p. 8). La première citation dans le corps du texte est tirée de Nakagaki *et al.* (2000, p. 470). La deuxième citation de Nakagaki vient de Viegas (2000, p. 1).

pp. 123-124 L'efficacité du réseau tubulaire du myxomycète

Nakagaki *et al.* (2003) écrivent : « Comment l'organisme obtient-il la bonne solution ? On connaît deux règles empiriques décrivant les changements dans la forme du corps : 1) les tubes avec des bouts ouverts ont tendance à disparaître au cours du premier pas, et 2) lorsque deux tubes ou plus se connectent aux mêmes sources de nourriture, les tubes les plus longs tendent à disparaître. Ces changements dans la structure tubulaire du plasmodium sont en étroite relation avec la dynamique spatio-temporelle des rythmes cellulaires. Les mouvements d'aller et retour de la masse protoplasmique, entraînés par la pression hydrostatique induite par des contractions rythmiques, pourraient affecter la morphogenèse des structures tubulaires. Par conséquent, un mécanisme clé sous-jacent à la formation du réseau pourrait impliquer la dynamique spatio-temporelle de champs oscillatoires de formes étranges et aux limites flottantes. Le plasmodium *Physarum* peut construire un réseau de transport efficace répondant aux multiples exigences de la courte longueur du réseau et de la séparation entre les sources de nourriture, ainsi que la tolérance d'une déconnexion accidentelle à une position aléatoire. Le plasmodium peut réussir à mettre en place une meilleure configuration de son réseau tubulaire que celle basée sur la plus courte connexion de l'arbre minimal de Steiner,

chose étonnante, puisqu'il est très difficile pour des humains de déduire les connexions de Steiner même pour un petit nombre de points. Cet organisme amiboïde est certainement très astucieux » (pp. 4-5). Nakagaki *et al.* (2001) écrivent : « Il est possible que des oscillateurs biochimiques dans le plasmodium donnent lieu à des vagues qui se propagent par des interactions spatiales de diffusion et d'advection via le flux protoplasmique. Ces vagues intracellulaires peuvent être provoquées au départ par quelque stimulation extérieure, dont un surcroît de nutriments, une augmentation d'intensité lumineuse, d'humidité ou de température. La vague en mouvement conduit au développement d'une structure tubulaire dans les parties qui ressemblent à des plaques. D'où les changements radicaux dans la géométrie du réseau tubulaire selon le type de perturbation extérieure. Le mécanisme de découverte de la voie à suivre est étroitement lié aux vagues de contraction dans le plasmodium. Le surcroît de nutriments conduit à une augmentation locale de la fréquence des contractions qui donne lieu à la propagation des vagues à partir de l'endroit à plus haute fréquence. Cette induction de vagues s'explique par la théorie de la dynamique des phases. Ces vagues de contraction font que le tube se modifie, puisque celui-ci se renforce ou se désintègre lorsqu'il est parallèle ou perpendiculaire à la direction de la propagation des vagues de contraction. Par conséquent, les effets du comportement complexe des vagues de contraction sur la formation du tube dans un labyrinthe jouent un rôle crucial chez les myxomycètes dans la découverte de la voie à suivre » (pp. 47-48, 50-51).

p. 126 La capacité de calcul des myxomycètes

Nakagaki (2001a) écrit : « Même pour des humains, l'issue d'un labyrinthe n'est pas facile à trouver. Mais le plasmodium du myxomycète, un organisme unicellulaire semblable à une amibe, fait preuve d'une étonnante aptitude à y réussir. Ce qui implique la présence, dans l'organisme unicellulaire, d'un algorithme et d'une haute capacité de computation... Du point de vue de la science quantitative, la méthode de computation du plasmodium est intéressante car il n'y a pas d'unité de traitement centrale tel un cerveau, mais plutôt une collection de parties identiques de protoplasme. L'évaluation se passe dans ces parties qui sont parallèles ou couplées entre elles. Ce type d'évaluation

est appelé estimation parallèle. Le mécanisme ou l'algorithme de l'évaluation parallèle représentent un défi à la compréhension et devraient pouvoir être clarifiés en termes de science quantitative et de la physique des phénomènes d'auto-organisation. *Physarum* se trouve être un objet utile pour essayer de le faire » (p. 767, 769).

p. 126 « Intelligence » et traitement de l'information chez les humains et les organismes unicellulaires

Nakagaki (2001b) écrit : « Les humains sont dotés de conscience, à savoir, nous sommes conscients de nous-mêmes. Cette propension est généralement ce que nous appelons l'intellect, cette partie de nous-mêmes qui réalise, par exemple, "je regarde quelque chose de couleur verte" ou se souvient "hier, j'ai roulé à bicyclette". L'intellect se réfléchit : il est capable de se voir objectivement. Il peut se représenter à lui-même comme distinct du reste du monde en tant que modèle abstrait, qui lui permet peut-être même de parvenir à une meilleure compréhension de lui-même. Il serait probablement bien difficile d'expliquer son sentiment quand on regarde quelque chose de vert ; et même si la personne était consciente de l'origine de ce sentiment particulier, il ne serait pas possible qu'une autre personne se joigne à elle dans ce domaine individuel du sentiment pour bénéficier de la même impression. Ainsi, le monde dans lequel chacun d'entre nous réside peut ne pas coïncider avec ceux des autres ; nos mondes individuels sont plutôt des royaumes créés dans notre esprit particulier, identiques à notre identité individuelle ou conscience de soi. Ainsi, le monde à l'intérieur duquel nous existons n'est pas quelque chose d'extérieur à nous ; chacun d'entre nous existe entièrement seul(e), dans un monde séparé, propre à chacun. Voyons ensuite le domaine du subconscient, un monde qui influe grandement sur la conscience. Il nous suffit de considérer nos propres mécanismes internes de traitement de l'information pour comprendre que la plupart d'entre eux ont lieu au niveau inconscient... Je crois que de tels mécanismes inconscients de traitement de l'information existent, dans une plus ou moins grande mesure, dans chaque être vivant (par exemple, la tendance des fourmis à se regrouper, ou des paramécies). Ce type-là de traitement de l'information peut-il être considéré comme de l'intelligence ? D'autre part, faut-il considérer des personnes ayant perdu la conscience d'elles-

mêmes, dans le coma, par exemple, ou simplement endormies, comme inintelligentes ? Si nous pouvons répondre à ces questions, alors nous devrions aussi être à même de répondre à la question de savoir si les animaux unicellulaires sont dotés d'intelligence ou non. Mon but est d'étudier ces mécanismes inconscients de traitement de l'information, si possible au niveau matériel, et de les rendre plus clairs. Dans cette tentative, je considère le myxomycète comme un sujet très important, voire même idéal » (pp. 11-12).

CHAPITRE 9

p. 130 Les photorécepteurs des organes génitaux des papillons

Arikawa (2001) écrit : « Les papillons perçoivent la lumière avec leurs organes génitaux. Quatre cellules photoréceptrices dans ces organes servent d'intermédiaire à cette photosensitivité. De tels photorécepteurs, qui existent dans des parties du corps autres que les yeux, sont appelés dans leur ensemble des photorécepteurs extra-oculaires... Les cellules photoréceptrices les plus étudiées sont celles qui se situent dans la glande pinéale du cerveau des vertébrés. Les photorécepteurs pinéaux reçoivent la lumière pour mettre en train l'activité quotidienne des animaux. Chez les arthropodes, les photorécepteurs extra-oculaires sont grossièrement répartis en deux types, selon leur emplacement général. Le premier type se trouve dans le système nerveux central. Un exemple classique de ce type est le photorécepteur caudal de l'écrevisse, un inter-neurone photoréceptif à l'intérieur du système nerveux abdominal, qui permet un réflexe de fuite quand l'abdomen reçoit un stimulus lumineux. Le second type est situé en dehors du système nerveux central en tant que neurones sensoriels, avec une base photoréceptive située à la périphérie des animaux. L'existence d'un type périphérique de photorécepteur avait depuis longtemps été repérée chez certains scorpions, mais le premier cas totalement documenté était celui des photorécepteurs génitaux des papillons » (p. 219). Comme les papillons s'accouplent queue à queue, et ne peuvent pas voir leurs parties génitales avec leurs yeux, Arikawa suggère que, d'une manière ou d'une autre, les mâles utilisent le signal lumineux détecté par les photorécepteurs génitaux aux fins de la copulation.

Tandis que les femelles utilisent ces mêmes photorécepteurs pour pondre leurs œufs correctement. Voir Arikawa *et al.* (1980) pour la recherche originale sur les photorécepteurs génitaux des papillons.

p. 130 Les papillons voient en couleurs

Kinoshita *et al.* (1999) écrivent : « Les papillons avaient été entraînés à se nourrir d'une solution de saccharose placée sur un disque de couleur particulière dans une cage installée dans le laboratoire. Après avoir répété cet apprentissage à quelques reprises, on présentait à un papillon la couleur d'entraînement positionnée au hasard parmi un choix de disques d'autres couleurs, mais sans solution de saccharose. Les résultats indiquent que les papillons apprennent rapidement à sélectionner sans se tromper la couleur d'apprentissage parmi d'autres couleurs différentes. La couleur d'apprentissage était également correctement sélectionnée quand elle était recouverte d'un filtre de densité neutre pour réduire sa brillance, ou même lorsque la couleur était présentée parmi une gamme de disques de diverses nuances de gris. Ces résultats démontrent de manière convaincante, pour la première fois, qu'un papillon voit vraiment en couleurs » (p. 95).

p. 131 Les papillons disposent de constance des couleurs

Kinoshita et Arikawa (2000) écrivent : « La vision en couleurs est la capacité de discriminer des stimuli visuels sur la base de leur contenu chromatique indépendamment de leur brillance. La fiabilité de la vision colorée est renforcée par le phénomène d'invariabilité des couleurs, qui permet aux animaux de reconnaître la couleur d'un objet indépendamment du contenu spectral de la lumière environnante. Par exemple, pour un observateur humain, une pomme rouge paraîtra rouge aussi bien au soleil et sous une lumière fluorescente, bien que les spectres d'illumination soient bien distincts l'un de l'autre. Ce phénomène est l'invariabilité des couleurs dans la vision humaine » (p. 3521). Ils ajoutent : « Nous avons entraîné un *Papilio xuthus* nouvellement sorti du cocon à se nourrir d'une solution de saccharine sur un morceau de papier d'une certaine couleur sous un éclairage de lumière blanche. Les papillons étaient ensuite testés sous des éclairages tantôt blancs tantôt colorés. Sous la lumière blanche, les papillons entraînés sur du jaune ou du rouge sélectionnaient l'échan-

tillon coloré correct parmi un motif comprenant quatre couleurs et un collage en couleurs de Mondrian. Sous quatre éclairages de couleurs différentes, nous avons obtenu des résultats fondamentalement similaires à ceux obtenus sous une lumière blanche. Nous avons en outre fait des tests critiques en utilisant des sets de couleurs semblables, qui ont été également correctement discriminées par des papillons entraînés dans un éclairage coloré. Tout cela nous a amenés à la conclusion que le papillon *Papilio xuthus* dénote un certain degré de constance des couleurs dans sa recherche de nourriture » (p. 3521).

pp. 132-133 Le système visuel richement doté des papillons

La citation dans le texte principal est de Arikawa *et al.* (2004), qui examinent la vision colorée et l'organisation rétinienne chez les papillons.

pp. 132-133 Les papillons perçoivent l'ultraviolet, les humains ne le font pas

Arikawa (1999) écrit : « Le système de vision colorée chez les humains est appelé trichromique, car il se base sur trois types de photorécepteurs coniques, spécialement performants dans les fréquences du bleu, du vert et du rouge... Il existe une différence frappante entre le système de vision en couleurs des arthropodes et celui des humains : la sensibilité aux rayons ultraviolets. L'absence de sensibilité de l'œil humain aux UV nous rend difficilement imaginable le monde visuel des arthropodes, car l'observateur humain est virtuellement aveugle aux nombreux patterns produits par la réflexion et l'absorption des UV et présents dans les scènes naturelles » (p. 23).

p. 133 Vision humaine et daltonisme

Ensminger (2001) écrit : « Les couleurs que nous voyons dépendent de la sensibilité aux longueurs d'onde des récepteurs visuels de nos yeux de même que des longueurs d'onde de la lumière qui entrent dans nos yeux. Dans la vision colorée, la lumière excite différentes classes de cellules photoréceptrices, contenant différents pigments visuels, et le cerveau compare leur degré différentiel d'absorption de la lumière. À la lumière vive, les humains perçoivent donc un monde coloré, car les cellules cônes de nos rétines sont dotées de trois

pigments visuels, avec une sensibilité maximale aux fréquences bleu (+/-425 nm), vert (+/-530 nm) et rouge (+/-560 nm) du spectre lumineux, et ce sont les réponses différentielles de ces cellules qui permettent la vision en couleurs... Le phénomène du “daltonisme” illustre bien le rôle important de nos pigments visuels dans la perception des couleurs. Ce désordre génétique, qui se produit chez environ un homme sur douze, et une femme sur cent, est provoqué par un gène défectueux du pigment visuel ou par la perte du gène qui correspond au pigment rouge ou au pigment vert. Bien que les personnes atteintes de ce trouble perçoivent le monde très différemment, elles ne sont pas véritablement daltoniennes, car elles disposent encore de deux pigments visuels pour la lumière vive, qu’elles utilisent dans l’élaboration d’une vision bichromique, une forme plus rudimentaire de perception de la couleur. Le vrai daltonisme se produit chez des personnes à qui il manque à la fois les pigments rouge et vert ; cette condition est extrêmement rare, puisqu’elle ne survient que chez moins d’un individu sur trente mille » (pp. 31-32).

p. 136 La modestie est une vertu japonaise

Davies et Ikeno (2002) écrivent : « Il y a un dicton en japonais qui se rapporte à l’usage de la modestie : “*No aru taka wa tsume wo kakusu*”, ou “Un faucon intelligent cache ses serres” ; c’est-à-dire, les personnes authentiquement compétentes n’exhibent pas leurs talents. En d’autres termes, dans la société japonaise, il n’est pas bon de faire étalage de ses connaissances, de sa culture et de ses capacités ; en fait, cela peut même s’avérer dangereux, car les étudiants qui montrent trop ouvertement leurs compétences à l’école, ou les gens qui excellent en société sont souvent malmenés ou ostracisés par d’autres » (p. 149).

p. 138 Miniaturisation dans le design japonais

Voir Davey (2003, p. 95).

CHAPITRE 10

p. 143 Cerveaux d’humains, de mammifères et de vertébrés

Blakeslee (2003) écrit : « La recherche sur les différences céré-

brales ne s'est pas révélée facile. Les cerveaux des mammifères sont extraordinairement semblables. Tous contiennent un anneau extérieur, ou cortex. Le cortex humain, siège de l'intelligence, est simplement beaucoup plus grand que celui des autres créatures, comparativement à la taille du corps humain » (p. 7). LeDoux (2002) écrit : « Tout cerveau de vertébré peut être subdivisé en trois parties principales : les cerveaux antérieur, moyen et postérieur » (p. 34).

p. 144 « Le Traité de l'homme », de Descartes

Voir Descartes (1953, orig. 1662, p. 873) pour la citation dans le texte principal.

pp. 144-146 Les êtres vivants sont différents des machines

Denton (2002) écrit : « Chaque système vivant se reproduit, cependant aucune machine ne possède cette capacité même dans une moindre mesure. Et aucune machine – même la plus avancée que des nanotechniciens puissent envisager – n'a été conçue qui puisse accomplir un acte si étonnant. Et pourtant, à chaque seconde, d'innombrables milliards de systèmes vivants, des bactéries aux éléphants, se reproduisent sur la surface de notre planète. Et depuis les origines de la vie, des formes de vie illimitées se sont sans effort recopiées en un nombre inimaginable de circonstances. Les choses vivantes possèdent la capacité de se métamorphoser d'une forme dans une autre. Par exemple, en cours de développement, les descendants de la cellule œuf se transforment de cellules indifférenciées non spécialisées en cellules amibiennes errantes, en cellules sanguines minces et plates contenant l'oxygène qui transporte l'hémoglobine, ou en neurones, ces cellules qui envoient des milliers de tentacules telles des méduses miniatures quelque cent mille fois plus longues que le corps central de la cellule. La capacité des choses vivantes à se dupliquer et à modifier leur forme et leur structure représente un trait vraiment remarquable. Pour saisir à quel point ces aptitudes sont fantastiques et à quel point elles transcendent tout ce qui est du domaine de la mécanique, imaginez nos artefacts doués de la capacité de se dupliquer et de revêtir différentes formes. Imaginez des télévisions et des ordinateurs capables de se dupliquer sans effort et qui peuvent aussi se métamorphoser en des types des machines complètement différentes – une télévision en four

à micro-ondes, ou un ordinateur en hélicoptère. Les capacités du vivant nous sont si familières que nous les considérons comme allant de soi, sans percevoir leur caractère vraiment extraordinaire » (pp. 84-85). Kurzweil (2002) répond : « Nous pouvons construire (et construisons déjà) des “machines” qui ont des pouvoirs bien plus grands que la somme de leurs parties en combinant les principes de design chaotique auto-organisateur du monde naturel avec les pouvoirs d’accélération de notre technologie inventée par les humains. Le résultat final sera vraiment une combinaison prodigieuse » (p. 182). Voir Kurzweil (1999) et Dyson (1997) pour une argumentation sapant certaines distinctions établies entre technologie et nature. Damasio (2003) distingue entre les composantes d’un avion et celles d’un organisme vivant : « Certaines des composantes de l’avion sont “animées” – lamelles et volets, aérofreins, train d’atterrissage – mais aucune de ces composantes n’est “vivante” en termes biologiques. Aucune de ces composantes n’est faite de cellules dont l’intégrité dépend de la distribution d’oxygène et de nutriments à *chacune* d’entre elles. Au contraire, chaque partie élémentaire de notre organisme, *chaque* cellule du corps, n’est pas seulement animée mais vivante. Plus impressionnant encore, chaque cellule est un organisme vivant *individuel* – une créature individuelle avec une date de naissance, un cycle de vie, et vraisemblablement, une date pour mourir. Chaque cellule est une créature qui doit veiller sur sa propre vie et dont la vie dépend des instructions de son propre génome et des circonstances environnementales... Il n’y a rien de réellement équivalent à cette cellule vivante dans les tonnes d’aluminium, d’alliages composites, de plastique, de caoutchouc et de silicone qui, ensemble, font le grand oiseau Boeing. Il y a des kilomètres de fils électriques, des milliers de mètres carrés d’alliages composites, et des millions d’écrous, de boulons et de rivets dans la peau d’un avion. Il est vrai que tous ceux-ci sont faits de matière, qui elle-même est faite d’atomes. Notre chair humaine l’est aussi, au niveau de sa microstructure. Mais la matière physique de l’avion n’est pas vivante, ses parties ne sont pas faites de cellules vivantes dotées d’un héritage génétique, d’une destinée biologique et d’une espérance de vie » (pp. 127-128).

p. 146 Intelligence artificielle

Franklin (1995) écrit : « L’IA (Intelligence Artificielle) est parfois

définie comme l'art de faire faire à des machines des choses qui, si elles devaient être faites par un être humain, demanderaient de sa part de l'intelligence » (p. 11). Kurzweil (1999) écrit : « De nos jours, les ordinateurs surpassent l'intelligence humaine dans une large variété de domaines intelligents mais étroits, comme jouer aux échecs, diagnostiquer certaines conditions médicales, acheter et vendre des titres, et guider des missiles de croisière. Pourtant, l'intelligence humaine demeure en général bien plus souple et flexible. Les ordinateurs sont encore incapables de décrire les multiples objets posés sur une table de cuisine, d'écrire le résumé d'un film, de lacer une paire de chaussures, de dire la différence entre un chien et un chat (bien que ce dernier fait, je crois, devienne aujourd'hui possible grâce aux réseaux neuronaux – neurones humains simulés par ordinateur), reconnaître l'humour, ou accomplir d'autres tâches subtiles auxquelles leurs créateurs humains excellent » (pp. 2-3). Lanier (2000) écrit : « Les deux ou trois premières générations de chercheurs en intelligence artificielle tenaient pour acquis que l'évolution aveugle à elle seule ne pouvait pas représenter la totalité de l'histoire, et présumaient qu'il existait des éléments propres à l'activité mentale humaine, distinguant celle-ci d'autres processus terrestres. Par exemple, on pensait couramment que les humains avaient le pouvoir de construire mentalement des représentations abstraites, alors que les processus évolutionnistes n'avaient pas besoin de le faire. En outre, ces représentations semblaient posséder des qualités extraordinaires, tel le terrible "bon sens", perpétuellement insaisissable. Après des décennies d'échecs dans la tentative de produire de telles abstractions dans un ordinateur, le domaine de l'IA renonça, mais sans l'admettre. L'abandon était simplement présenté comme une série de retraites tactiques. De nos jours, l'IA est souvent conçue comme un métier artisanal, plutôt que du domaine des sciences ou de l'ingénierie. Bon nombre de praticiens avec lesquels j'ai parlé récemment espèrent voir les logiciels évoluer, mais semblent partager un manque d'intérêt total, qu'on pourrait appeler postmoderne ou cynique, pour tenter de comprendre comment ces trucs fonctionnent. Enfin, il faut poser un point empirique : il y a maintenant plus d'une décennie de travail à travers le monde dans des approches darwiniennes pour générer des logiciels, et bien qu'il y ait eu quelques résultats isolés fascinants et impressionnants, et que j'aie vraiment

beaucoup de plaisir à participer à ce type de recherches, rien n'est ressorti de ce travail qui puisse vraiment améliorer l'ensemble des logiciels... Ainsi, bien que j'aime Darwin, je ne compterais pas sur lui pour écrire un code » (p. 170). Voir Johnson (2001) sur la vie artificielle.

p. 146 La consistance et la nature du cerveau humain

Colburn (1999) écrit : « Il s'agit d'environ trois livres de matière ratatinée de couleur gris-rose à consistance de gelée – et pourtant, pour reprendre les mots d'Emily Dickinson, c'est “plus vaste que le ciel” » (p. 1). Il écrit également : « Le cerveau humain possède jusqu'à 100 milliards de cellules nerveuses, ou neurones... Chaque neurone peut former des milliers de liens, ce qui donne dans un cerveau ordinaire 100 trillions de synapses » (p. 2). Grayling (1997) écrit : « Il a fallu longtemps jusqu'à ce que de patientes observations alliées à la méthode scientifique commencent à découvrir le réel mystère : à savoir, comment un kilogramme de matière pâle avec une consistance d'œuf mollet, protégée par un dur écrin osseux, et sans qu'aucune partie à l'intérieur de lui ne se déplace, peut accomplir tous les miracles de la conscience dont – en tant que leurs sujets – nous sommes par ailleurs si familiers » (p. vi). Nadis (2001) décrit les connexions entre neurones cérébraux comme « un schéma de câblage extrêmement complexe, doté de plus de connexions que les étoiles de notre galaxie, prenant forme dans un organisme qui a commencé par n'être qu'une seule cellule » (p. 4). Wakker et Richter (2004, p. 30) estiment que « notre galaxie contient environ 100 milliards d'étoiles ». Derrington (2000) écrit : « Selon une certaine estimation, chaque millimètre cube de cortex cérébral contient quelque trois kilomètres de “filaments” neuronaux » (p. 2).

p. 147 Images dans le cerveau

Damasio (1999a) écrit : « Franchement dit, le premier problème de la conscience est de savoir comment nous obtenons “un cinéma dans la tête”, pour autant que nous réalisons que, dans cette métaphore grossière, le film a autant de pistes sensorielles que notre système nerveux a de portails sensoriels – la vue, l'ouïe, le goût, l'olfaction, le toucher, les sens intérieurs, etc. Du point de vue de la neurobiologie, la

résolution de ce premier problème consiste à découvrir de quelle manière le cerveau crée des schémas neuraux dans ses circuits de cellules nerveuses, puis réussit à transformer ces schémas neuraux en figures mentales explicites, lesquelles constituent le phénomène biologique du plus haut niveau, que j'aime appeler images » (p. 9).

pp. 147-148 Cerveaux bilingues

Voir Kim *et al.* (1997) et Restak (2001, p. 45).

p. 148 De nombreuses parties différentes du cerveau sont utilisées

Blakeslee (2003) écrit : « Le cortex humain, où réside l'intelligence, est simplement beaucoup plus grand que celui d'autres créatures étant donné la taille du corps humain. Mais la taille du corps n'est pas tout. Un trait important des cerveaux plus complexes, c'est la richesse de leurs circuits – des cellules interreliées de diverses parties devenant actives en même temps. Imaginez un arbre de Noël avec des millions de lumières, chacune représentant un groupe de cellules. Le fait de penser à des chiens activerait une petite série de lumières. Penser à un coucher de soleil activerait une série entièrement nouvelle de lumières sans qu'il y ait de chevauchement entre elles. Une fois qu'une pensée est terminée, toutes les lumières ou neurones sont réduits au silence, en attendant d'être appelés à jouer un rôle dans diverses combinaisons lorsque de nouvelles pensées surgissent » (p. 7).

p. 148 Limites de l'imagerie cérébrale

Stix (2003) écrit : « Les images abondent, qui montrent des taches jaunes et oranges sur un arrière-fond de matière grise – un instantané montrant où l'ampoule s'éclaire quand vous bougez un doigt, vous vous sentez triste ou encore, additionnez deux et deux. Ces images révèlent quelles sont les régions qui reçoivent un afflux particulier de sang riche en oxygène. Mais, en dépit des prétentions de la phrénologie moderne, elles demeurent une abstraction, un pont imparfait entre cerveau et intellect » (p. 26).

p. 149 Cerveau « émotionnel »

Voir LeDoux (1996), en particulier pour une description du

thalamus et de l'amygdale travaillant ensemble pour fournir une « transmission rapide et grossière » (p. 166), qui permet au cerveau de commencer à répondre au danger potentiel, tel un serpent sur un sentier.

pp. 149-150 Enregistrement neural en différé

Ingram (2000) décrit une expérience impliquant des machines IRM (Imagerie par résonance magnétique) et des personnes à qui l'on demandait de reconnaître des objets : « L'activité cérébrale atteignait un pic quand l'objet était reconnu et comme on pouvait s'y attendre le pic était atteint plus vite avec des objets vus dans un passé récent. Mais ce qui était vraiment étrange, c'est que le cerveau des gens semblait savoir quand un objet avait été vu récemment avant même que les propriétaires du cerveau s'en rendent compte. L'IRM a enregistré une activité cérébrale intensifiée en réponse à un objet familier avant que la personne ne dise : "Je reconnais cet objet ; c'est une souris d'ordinateur." Cette expérience montre qu'il se passe dans notre cerveau beaucoup de choses dont nous ne sommes pas conscients. Elle confirme également ce que d'autres scientifiques ont déclaré dans d'autres contextes : que la conscience est branchée sur une sorte de bande d'enregistrement en différé. Nous ne sommes pas conscients de ce qui se passe dans nos cerveaux, mais seulement de ce qui vient de s'y passer, et encore, pas tellement non plus » (p. 2). Eagleman et Sejnowski (2000) mesurent ce décalage horaire comme valant 80 millisecondes.

p. 150 Cerveau abdominal

Voir Blakeslee (1996).

pp. 150-151 Signaux du corps au cerveau

Voir Manier (1999) qui décrit la recherche de Damasio impliquant jeux de cartes et mesures cutanées. Damasio (1999a) écrit en référence à un patient avec un « locked-in syndrome » : « Le cerveau ne peut pas se servir du corps en tant que théâtre de réalisation émotionnelle » (p. 293).

p. 151 Les neurones communiquent avec les neurotransmetteurs dans l'interstice synaptique

Matthews (2000) écrit : « Nous pouvons actuellement observer la danse moléculaire complexe qui prend place quand les neurones se parlent entre eux, et nous en apprenons davantage sur les mécanismes de contrôle impliqués. Les neurones communiquent à des points de jonction spéciaux, connus sous le nom de synapses ; la cellule qui transmet un message libère un signal chimique dans le petit interstice la séparant de la cellule réceptrice. Quand le neurone transmetteur est stimulé, des canaux dans sa membrane plasmique s'ouvrent à l'endroit de la synapse, permettant aux ions de calcium de s'introduire dans la cellule. Cela incite les poches contenant les neurotransmetteurs chimiques à fusionner avec la membrane de plasma, en libérant leur contenu – le signal – dans l'interstice synaptique. Ces neurotransmetteurs se diffusent alors à travers l'interstice dans le neurone voisin, où ils se lient à des récepteurs de la membrane plasmique, en déclenchant de la sorte une réponse électrique » (p. 835).

pp. 151-152 Changement synaptique pour la mémoire

Voir Hall (1998) sur l'importance de l'escargot de mer *Aplysia californica* quant au rôle du changement synaptique pour la mémoire et l'apprentissage. Il cite Eric Kandel, un biologiste pionnier dans l'étude moléculaire de la mémoire en étudiant des cerveaux d'*Aplysia* pendant plus de trois décennies, qui a déclaré : « L'une des choses merveilleuses que nous commençons à apprécier est que ces sacrés invertébrés peuvent apprendre n'importe quoi ! J'entends par là, ils ne peuvent pas apprendre à parler français, mais toutes les choses dont Pavlov et les psychologues comportementalistes avaient parlé – ce que nous appelons maintenant des formes de mémoire implicites, ou non assertives – ils pouvaient les faire à la pelle » (p. 30). Stevens (1996) commente : « Un millimètre cube du cortex contient environ un milliard de synapses, de sorte que si chaque synapse pouvait être forte ou faible, alors le volume du cortex pourrait emmagasiner quelque chose comme 100 megabits d'information. Il n'est pas possible de prendre ce chiffre au sérieux pour diverses raisons, mais il donne une indication du pouvoir potentiel, et donc du grand attrait, de la notion que les mémoires puissent être emmagasinées comme des patterns de forces synaptiques » (p. 471).

p. 152 La mémoire est emmagasinée dans la totalité du cortex

Fuster (2003) écrit : « En même temps, l'évidence de la consolidation de la mémoire dans un seul réservoir implique que le cortex cérébral dans son entier représente ce réservoir et que le changement synaptique dans les réseaux corticaux soit l'essence de cette consolidation. Cette manière de voir est en plein accord avec ce qu'on appelle les cercles cognitifs, la *théorie unitaire* de la mémoire. Il n'y a pas besoin de structures neurales diversifiées pour accommoder différents types de mémoire s'il existe un réservoir qui peut contenir toute la mémoire, quel que soit son niveau de développement ou son usage. Ce qui est nécessaire, cependant, à la lumière de l'évidence physiologique et clinique dont nous disposons, est une topographie complexe des réseaux corticaux pour contenir les contenus infiniment divers de la mémoire » (p. 121).

p. 152 Gravure des mémoires dans les protéines

Damasio (1999b) écrit : « En plus, le processus par lequel les faits nouvellement appris sont consolidés dans la mémoire à long terme va au-delà du bon fonctionnement de l'hippocampe et des cortex cérébraux. Certains processus doivent prendre place aux niveaux neuronal et moléculaire pour que les circuits neuraux soient en quelque sorte gravés avec les impressions d'un fait nouvellement appris. Cette gravure dépend d'un renforcement ou d'un affaiblissement des points de contacts entre neurones, appelés synapses. Une découverte provocante récente... c'est que la gravure de l'impression demande la synthèse de protéines fraîches, qui à leur tour dépendent de l'engagement de gènes spécifiques à l'intérieur des neurones chargés du support de la mémoire consolidée » (p. 78). Voir le travail de Nader *et al.* (2000) sur les mémoires liées à la peur demandant une synthèse de protéines dans l'amygdale – une recherche conduite sur des rats.

p. 152 Mémoire à court terme

Connors (2002) décrit la recherche qui a découvert « qu'un seul neurone isolé, après une brève stimulation, pouvait engendrer des augmentations soutenues de son activité électrique, mesurables en intensité et facilement réversibles. En d'autres termes, un tel neurone pouvait rapidement apprendre (et oublier) de nombreux éléments d'information...

Il est peu probable que des neurones individuels agissent pour leur propre compte, parce que les mémoires sont distribuées à travers de grands nombres de neurones. Mais peut-être que des neurones intrinsèquement mnésiques sont une composante essentielle de réseaux interconnectés qui encodent les mémoires... Sans la mémoire à court terme, la cognition elle-même s'effondrerait. Des troubles du fonctionnement de la mémoire en action ont été imputés, par exemple, à des maladies psychiatriques aussi graves et dévastatrices que la schizophrénie. Si le mécanisme mnésique d'un seul neurone se révèle jouer un rôle significatif dans le comportement, cela nous aidera à comprendre le fonctionnement – et ses dysfonctions – au niveau moléculaire » (pp. 133-134). La citation dans le corps du texte sur la mémoire à court terme est de Connors (2002, p. 133).

p. 153 Nouvelles mémoires de nouveaux neurones

Macklis (2001) décrit la recherche conduite sur des cerveaux de rats adultes par une équipe de neuroscientifiques : « Les auteurs ont découvert qu'une réduction d'environ 80 % dans le nombre de neurones fraîchement nés dans l'hippocampe d'un adulte endommageait la mémoire-trace dépendante de l'hippocampe, mais n'avait aucun effet sur une autre forme de mémoire, indépendante de l'hippocampe. La restauration des niveaux normaux de neurogenèse dans l'hippocampe de rats adultes, à la fin d'un traitement avec MAM (une drogue qui tue les cellules en train de proliférer), a conduit à la récupération d'une mémoire-trace. Ce qui implique que le niveau normal de neurogenèse dans l'hippocampe des rats adultes est indispensable pour certains types de mémoire relatifs au timing et à l'ordre temporel des événements. Par extension, il semble que les nouveaux neurones eux-mêmes soient impliqués dans la formation de nouvelles mémoires » (p. 315).

p. 153 L'étude et l'exercice augmentent la survie de nouveaux neurones

Gage (2003) écrit : « L'un des aspects les plus frappants de la neurogenèse dans l'hippocampe, c'est que l'expérience peut réguler le taux de division cellulaire, la survie des nouveaux neurones et leur capacité à intégrer le circuit neural existant. Les souris adultes qui sont transportées d'une cage simple, plutôt stérile, à une cage plus grande

dotée de roues et de jouets, par exemple, vivront une augmentation significative de neurogenèse.... L'exercice des souris dans une roue tournante suffit à presque doubler le nombre de cellules qui se divisent dans l'hippocampe, ce qui a pour résultat une forte augmentation de nouveaux neurones. Étrangement, une activité physique régulière telle que la course peut aussi soulager la dépression chez les humains, peut-être en activant la neurogenèse... Les liens entre la neurogenèse et l'augmentation de l'activité mentale et de l'exercice laissent aussi supposer que les gens pourraient être à même de réduire leur risque de maladie neurale et d'améliorer les processus de réparation naturels de leur cerveau en choisissant une vie mentalement stimulante et physiquement active » (p. 34).

pp. 153-154 Réseaux neuronaux et modalités d'apprentissage du cerveau

Voir Fuster (2003, pp. x-xi) et Vaadia (2000, p. 523) pour les citations dans le corps du texte.

pp. 154-155 Plasticité du cerveau

Voir Holloway (2003) à propos des musiciens à cordes, des enfants dyslexiques et des paraplégiques.

p. 155 Perspectives sur le moi

Gray (2002) écrit : « La science cognitive suit les enseignements bouddhistes lorsqu'elle considère le moi comme une chimère. Nos perceptions sont des fragments, puisés dans une richesse insondable – mais il n'y a personne pour faire la sélection. Nos moi sont eux-mêmes fragmentaires... Nous travaillons dur sous l'effet d'une erreur. Nous agissons en croyant que nous sommes faits d'une seule pièce, mais nous sommes capables de nous adapter aux situations uniquement parce que nous sommes une succession de fragments. Nous ne pouvons pas nous libérer de la perception d'être des moi consistants, et pourtant nous ne savons pas qui nous sommes » (pp. 71-73). Llinás (2001) écrit dans la même veine : « "Je" a toujours été un mystère magnifique ; je crois, je dis, je ceci ou cela. Mais il faut comprendre qu'il n'existe pas de chose si tangible » (p. 127). Varela (1996) décrit le moi comme « *vide de nature du moi*, vide de toute substantialité sai-

sisable » (p. 60, italiques originaux). Damasio (cité dans Manier 1999) voit les choses d'un autre point de vue : « Le fait que le moi existe, illusoire ou non, requiert une explication. S'il est illusoire, alors tout est illusoire » (p. 3). Damasio (1999a) décrit le sens du moi comme « le sens de posséder les images qui sont dans ma tête et de les former selon ma perspective » (p. 76), et suggère que le moi est en premier lieu et avant tout un *sentiment* : « la présence de vous est le sentiment de ce qui se passe lorsque votre être est modifié par les actes d'appréhender quelque chose » (p. 10). Il conclut également que la connaissance est un sentiment : « La forme la plus simple dans laquelle la connaissance non verbale émerge mentalement est le sentiment de connaître – le sentiment de ce qui se passe quand un organisme est engagé dans le processus de traitement d'un objet – et ensuite seulement peuvent commencer à avoir lieu des inférences et des interprétations à propos du sentiment de connaître. Curieusement, la conscience commence avec le sentiment de ce qui se passe quand nous voyons ou entendons ou touchons. Rephrasé en termes un peu plus précis, c'est un sentiment qui accompagne la fabrique de n'importe quelle espèce d'image – visuelle, tactile, viscérale – à l'intérieur de nos organismes vivants. Placé dans le contexte approprié, le sentiment désigne ces images comme nôtres et nous permet de dire, au sens propre du terme, que nous voyons ou entendons ou touchons » (p. 26). Mais Damasio ajoute qu'« on ne peut pas vraiment répondre pour le moment » à la question de savoir ce qu'est la nature exacte d'un sentiment » (p. 314). La citation dans le corps du texte est de McGinn (1999, p. 165).

p. 156 Ne pas confondre intellect et cerveau

Shanon (2002) écrit : « Je rejette entièrement la possibilité que des notions biologiques – aussi détaillées soient-elles – puissent offrir des explications psychologiquement viables. Bien évidemment, sans un cerveau, un système nerveux et la physiologie du corps, nous autres humains ne pourrions pas accomplir tout ce que nous faisons en tant qu'agents cognitifs. Cette vérité technique triviale ne devrait cependant pas être confondue avec des assomptions cognitives-psychologiques théoriques... La situation est analogue à celle que nous rencontrons en musique. Bien sûr, sans un piano, la musique pour piano ne peut pas exister. Toutefois, si l'on veut comprendre ce qui est

approprié à la compréhension d'une sonate pour piano, il ne sert à rien d'étudier exclusivement la physique des cordes du piano et leur acoustique. On utilisera de préférence des notions musicales significatives, telles celles développées dans la théorie de la progression mélodique et celle de l'harmonie musicale » (p. 34). Nurse (1997) écrit : « Une étude correcte des processus mentaux doit prendre en considération les productions mentales et les interactions entre intellects. Ces processus ne sont pas facilement réductibles à des comportements cellulaires et moléculaires. Par exemple, on pourrait imaginer que la reconnaissance de la "mère" par un poulet stimule une série spécifique de dix neurones particuliers. Si on cultivait ces neurones dans une boîte de Petri, puis qu'on les traitait d'une certaine manière imitant la reconnaissance de la mère, ces cellules expérimenteraient-elles de quelque manière que ce soit le concept de mère ? Cela semble particulièrement absurde. Dans une veine semblable, le concept d'être amoureux peut-il être expliqué en termes d'activité neuronale ? Il est évident qu'une compréhension appropriée nécessite une explication à un niveau approprié » (p. 657).

p. 156 Limites actuelles des neurosciences

Vaadia (2000, p. 524) compare les avancées actuelles des neurosciences aux premiers vols des frères Wright. Stix (2003) écrit : « Nous n'avons pas même encore commencé à comprendre la nature de la conscience. Y parvenir pourrait bien prendre encore un siècle, et certains neuroscientifiques et philosophes croient même que la compréhension de ce qui fait que vous soyez *vous* risque de nous demeurer à jamais inconnue » (p. 26). Fuster (2003) écrit : « Plus nous connaissons d'éléments factuels sur le cerveau, et moins nous avons le sentiment de connaître ce qu'est le substrat cérébral de l'esprit, qui semble disparaître dans une spirale descendante de réductionnisme » (p. vii).

CHAPITRE 11

p. 159 Signes organiques et biosémiotique

Kampis (1998) écrit : « *Un signe est quelque chose qui est là pour désigner autre chose.* C'est précisément cette propriété des signes – la

propriété d'être là pour désigner autre chose – qui est responsable de ce qui rend, à première vue, si discutable la recherche de signes dans l'univers physique. Les objets physiques sont ce qu'ils sont, et en effet, il n'est pas nécessaire de souscrire à un réalisme métaphysique, à un essentialisme ou à toute autre étrange idée née d'un laboratoire-maison, pour voir qu'il serait difficile pour ces objets d'être quoi que ce soit d'autre que ce qu'ils sont » (p. 268). Kull (1998) écrit : « Par exemple, les ribosomes des cellules fonctionnent comme traducteurs quand ils fabriquent de nouvelles protéines, mais ils sont eux-mêmes le produit d'un autre processus de traduction qui synthétise les ribosomes. Cet exemple montre bien que *les organismes sont des textes qui s'autolisent*. Pour être bref, on pourrait définir la sémiologie comme l'apparition d'une connexion entre des choses qui n'ont *a priori* rien en commun, dans le sens où elles n'interagissent pas, ni se transforment mutuellement via des processus physiques ou chimiques directs... Ce qui veut dire aussi qu'il existe des entités dans le monde (telle la "signification" des signes) qui ne peuvent influencer que des systèmes vivants, et non inanimés. Les phénomènes sémiotiques n'appartiennent pas à la réalité physique » (pp. 303-304). Sharov (1998) écrit : « Les processus de signes pénètrent le corps tout entier d'un organisme. La molécule ADN code la séquence d'acides aminés dans les protéines, qui à leur tour peuvent devenir des signaux pour différents types d'actions au niveau d'une seule cellule ou de tout l'organisme. Les cellules communiquent entre elles en utilisant des molécules-signaux (hormones, médiateurs)... Les organismes vivants disposent d'autodescriptions internes écrites en alphabet ADN. Cette description provient de générations antérieures et résume l'expérience de tous les ancêtres dans l'art de la survie. Ainsi, chaque organisme a une nature duelle : elle se tient à elle seule, mais elle représente également un message de toutes les générations antérieures à toutes les générations futures. Cette dualité est ce trait essentiel du vivant qui rend l'évolution biologique possible. La survie et la reproduction différentielles des organismes sont un processus sémiotique qui incorpore le présent dans le futur. Hoffmeyer caractérise la vie comme une survie sous forme codée. Les messages qui fournissent les meilleures recettes pour survivre sont reproduits avec les organismes, tandis que les messages d'instructions dépourvus d'importance disparaissent en même temps

que leurs porteurs. Le codage est basé sur des conventions. Par exemple, la correspondance des triplets ADN aux acides aminés des protéines n'est pas dépendante de règles physiques ou chimiques ; c'est une correspondance de type sémiotique » (pp. 404-405). Witzany (1998) écrit : « La compréhension du langage de la nature (le langage de l'acide nucléique) nécessite une sémiotique moléculaire qui analyse et interprète les processus d'interaction moléculaire en tant que processus sémiotiques » (p. 434).

p. 159 « Code » génétique

Witzany (1998) écrit : « Le code génétique fixé dans l'ADN et lu, copié et traduit en expression des gènes, n'endosse son vrai rôle de texte génétique qu'à l'aide d'utilisateurs-de-signes qui puissent le lire, le copier et le traduire en langage des acides aminés. Cette expression des gènes, et avec elle, tous les sous-processus qui y sont reliés, n'est ni mécanique, ni mystérieuse, ni vitaliste. Elle est plutôt le résultat d'interactions complexes, régulées, et d'une coordination de comportements hautement spécifiques entre différents types de protéines-enzymes. Ces enzymes "nettoient" le texte et le préparent à être lu, réalisent le travail de copie dans les trois sortes d'ARN, repèrent dans le texte les passages superflus, les suppriment, réparent jusqu'à un certain point les sections endommagées en utilisant des techniques plus grossières ou plus fines selon les cas (excision et réparation post-duplication), et finalisent l'ensemble du processus normal d'expression des gènes. Toutes les protéines enzymatiques individuelles sont codées sous forme de séquences génétiques, et pourtant les protéines-enzymes elles-mêmes préparent les gènes à la lecture et ce faisant, assurent la reproduction de toutes les protéines-enzymes indispensables » (p. 433).

p. 160 « Unicité » humaine

Ingold (1994) écrit : « L'espèce humaine est biologiquement unique. De même, chaque autre espèce à la surface de la Terre. Cette singularité, comme nous l'avons vu, ne consiste pas en un ou plusieurs attributs essentiels que tous les individus d'une espèce donnée partageraient, et qu'aucun individu d'une autre espèce ne posséderait. Elle tient plutôt à la composition de la totalité du réservoir de traits géné-

tiques dont chaque individu de l'espèce, en vertu de son ascendance, représente une combinaison particulière. Les réservoirs génétiques de différentes espèces peuvent largement se chevaucher, spécialement quand celles-ci sont proches sur le plan phylogénétique – on a découvert, par exemple, que les êtres humains et les chimpanzés étaient à 99 % identiques génétiquement – mais ces réservoirs ne se recoupent jamais précisément. En outre, la composition du réservoir de chaque espèce change constamment, ce qui est simplement une autre manière de dire que celle-ci évolue. En ce qui concerne les espèces différentes de la nôtre, ces faits sont bien établis et incontestés. Mais quand il s'agit des humains, ils rencontrent une résistance obstinée » (p. 25). Ingold (1988) écrit : « Je soutiens la vue selon laquelle la production d'artefacts dépend d'une aptitude à la pensée symbolique propre à l'*Homo sapiens*, une aptitude qui trouve sa base dans la faculté du langage ; et je crois que cela a d'énormes implications pour l'évolution humaine et l'histoire humaine. Cette faculté permet entre autres l'innovation par invention délibérée plutôt que par accidents aléatoires, la transmission d'un projet par l'étude plutôt que par apprentissage aveugle et imitation, donc une acquisition active de la culture plutôt que l'absorption passive de la tradition, acquisition à son tour responsable de l'accroissement cumulatif et progressif des connaissances qui représente sûrement un trait indéniable et unique de l'histoire de l'humanité. Toutefois – et cela est à prendre très au sérieux, nous ne devrions pas nous méprendre sur la portée de la faculté symbolique et de ses effets, en pensant par exemple qu'elle sous-tend tous nos actes. Ma position, au contraire, est qu'elle ne sous-tend qu'une toute petite fraction, bien qu'extrêmement importante, de ce que nous faisons, alors qu'en majeure partie, la conduite humaine ne diffère en substance pas tellement de celle des animaux non humains » (p. 85). Ingold ajoute : « Sommes-nous équipés pour penser, comme les castors pour construire des digues, ou les araignées pour filer des toiles ? Bien sûr, si vous êtes un être humain, il y a un certain avantage à être capable de penser, tout comme il y a, en termes d'adaptation, un avantage certain à savoir fabriquer une digue ou une toile si vous êtes un castor ou une araignée. Pourtant, cette spécialisation, puisqu'elle permet la construction d'un projet, plutôt que la construction d'objets (digue ou toiles) selon un modèle donné, a fait de nous les animaux

les plus généralisés et adaptables de la Terre. Nous pouvons, si nous le voulons, battre le castor ou l'araignée à leur propre jeu, reprenant à notre compte des solutions à des problèmes techniques déjà parfaitement résolus ailleurs dans la nature à travers le long processus d'adaptation évolutionniste. L'un dans l'autre, bien que les humains ne diffèrent que peu des autres espèces, pas plus que celles-ci ne diffèrent entre elles, cette différence a des conséquences énormes pour le monde que nous habitons, puisque c'est un monde que, dans une mesure toujours plus grande, nous avons fait pour nous-mêmes, et qui nous confronte au produit artificiel de l'activité humaine » (p. 97).

p. 160 Perspective japonaise sur la nature

Voir Kawade (1998, p. 285).

p. 160 Définitions de l'« intelligence »

Cohen (1996) écrit : « La créativité et l'intelligence sont les plus grands accomplissements de notre espèce. Il n'est pas facile de définir les qualités qui distinguent un produit de l'effort humain tel un travail de génie. Pourtant, les psychologues ont essayé de définir ou de quantifier la nature de la créativité et du génie. Tout comme les œuvres de génie sont des produits de leur temps, les explications sur la créativité et l'intelligence avancées au fil des années reflètent les intérêts culturels et politiques dominants et ont engendré d'intenses sentiments. Jusqu'à ce jour, l'étude de ces processus supérieurs de pensée continue à être entourée d'autant de controverse que de mystère. Il n'est sans doute pas très malin de tenter de définir l'intelligence. Le mot a trop de significations, et il est utilisé pour décrire de trop nombreux types de pensée. La ruse d'un détective, la sagesse d'un juge et les pouvoirs analytiques d'un scientifique sont indéniablement autant de formes d'intelligence. En outre, différentes cultures identifient comme intelligentes des aptitudes mentales extrêmement diverses : l'habileté d'un membre d'une tribu à traquer les animaux ou la dextérité d'un philosophe à manier des concepts abstraits sont considérées dans leurs propres sociétés comme des sommets d'intelligence » (pp. 165-166). Richardson (2000) écrit : « Nous commençons à voir que le terrain existant n'offre aucune fondation stable à ceux qui cherchent à répondre à la question : "Qu'est-ce que l'intelligence ?" En effet, la

confusion est complexe. La plupart des gens ordinaires semblent savoir ce qu'est l'intelligence, mais en fait, à y voir de plus près, ils n'en sont pas si sûrs. La plupart des psychologues semblent pleins de certitude à ce propos, mais leurs convictions éclatent en fragments disparates lorsqu'on leur en demande une définition. Les testeurs de QI disent pouvoir la mesurer, mais savent-ils ce qu'ils mesurent ? Ils disent que les différences mesurées reflètent au moins autant les différences génétiques qu'"environnementales", mais quelle validation leurs concepts et méthodes ont-ils reçue pour en faire la démonstration ? On dit que l'intelligence, qui est un principe général du monde animal, a reçu un élan particulier au cours de l'évolution humaine, mais ce en quoi la différence consiste demeure incertain. Cette incertitude se reflète dans des questions à ce jour sans réponse : à quoi sert donc un si grand cerveau ?... Il est évident que le concept d'intelligence inclut en général des présupposés bien enracinés d'ordre social et idéologique (sur la manière dont le monde social devrait être, ou est naturellement) » (pp. 22-23). Fuster (2003) écrit : « Parmi les cinq fonctions cognitives considérées dans cette monographie, l'intelligence est la plus complexe et la plus difficile à définir. La complexité découle des relations étroites entre l'intelligence et les quatre autres fonctions – perception, mémoire, attention et langage. Toutes les quatre contribuent à l'intelligence, bien que chacune à sa manière et à un degré variable, selon l'individu et les circonstances. La difficulté à définir l'intelligence découle de la variété presque infinie de ses manifestations. Ici, on la définira comme l'aptitude à s'ajuster par le raisonnement à de nouveaux changements, à résoudre de nouveaux problèmes et à créer de nouvelles formes précieuses d'action et d'expression. Cette définition est suffisamment large pour incorporer les hauts faits les plus exceptionnels de l'humanité » (p. 213). Vertosick (2002), tout en reconnaissant qu'« il n'y a pas de définition reconnue de l'intelligence et aucun moyen absolument certain de la mesurer », écrit également : « Quand je parle d'intelligence, j'entends la capacité généralisée de conserver les expériences passées et d'utiliser le savoir acquis pour résoudre les problèmes futurs. Je ne limite pas mon discours à l'intelligence humaine, que beaucoup considèrent synonyme d'intelligence tout court. Au contraire : je rejette la notion que l'intelligence humaine est un phénomène unique dans le domaine de la

biologie. Les cerveaux sont utiles pour résoudre une certaine catégorie de problèmes, mais ils n'ont pas le monopole général de la résolution de problèmes. La science travaille actuellement selon une vue erronée pour laquelle l'intelligence est une propriété que l'on ne trouve que dans des conglomérats câblés tels que les cerveaux et leurs substituts électroniques, les ordinateurs. J'appelle cette méprise "chauvinisme du cerveau", et je la réfuterai en montrant comment toute entité vivante – même entièrement dépourvue de système nerveux – peut (et doit) utiliser une forme ou une autre de raison pour survivre. En fait, je crois que l'intelligence et le processus du vivant sont une seule et même chose : pour vivre, les organismes (ou communautés d'organismes) doivent absorber l'information, l'emmagasiner, la traiter et développer des stratégies futures qui reposent là-dessus. En d'autres termes, pour être vivant, il faut penser » (pp. XII, 4).

p. 162 Thermostats et intelligence

Dennett (1998) écrit : « McCarthy et moi avançons l'idée qu'un thermostat est l'un des systèmes les plus simples, les plus rudimentaires et les moins intéressants que l'on puisse inclure dans la classe des croyants – la classe des systèmes intentionnels, pour reprendre mes termes. Pourquoi ? Parce qu'il est pourvu d'un objectif ou d'un désir rudimentaire (établi dictatorialement par son propriétaire, bien sûr), auquel il se conforme de manière appropriée chaque fois qu'il croit (grâce à un senseur d'une sorte ou d'une autre) que ce désir n'est pas accompli. Bien sûr, il n'est pas *obligatoire* de décrire un thermostat dans ces termes. On peut le décrire en termes mécaniques, voire même en termes moléculaires. Mais ce qui est *théoriquement intéressant*, c'est que si l'on veut décrire l'ensemble de tous les thermostats (cf. l'ensemble de tous les acheteurs), il est nécessaire de faire référence à ce niveau intentionnel. Tout acheteur particulier peut aussi être décrit à un niveau moléculaire, mais ce que tous les acheteurs – ou les thermostats – ont en commun, c'est une propriété systémique qui peut *seulement* être décrite en faisant appel au discours de croyance et au discours de désir (ou leurs alternatives moins colorées, mais tout aussi intentionnelles – le discours d'information sémantique et le discours de l'enregistrement d'un projet, par exemple) » (p. 327). John McCarthy, l'inventeur du terme *intelligence artificielle* disait : « Mon

thermostat croit en trois choses. Mon thermostat croit “il fait trop chaud ici”, “il fait trop froid ici”, et “il fait juste bon ici” » (cité dans Searle 1987 : 211). Calow (1976) écrit : « Les mécanistes ne comprennent pas toujours qu'ils sont des funambules marchant sur une corde extrêmement étroite entre la théorie des machines et l'animisme. La plupart des machines présupposent l'existence d'un opérateur ou en tout cas d'un concepteur, et par conséquent, il n'est que trop facile de perdre l'équilibre et de tomber de la corde raide dans les filets du vitalisme » (p. 9). Grand (2001) écrit : « Un thermostat est-il conscient parce qu'il est *sensible* à son environnement (la température dans la chambre) ? Ceux qui soutiennent que oui dénaturent le terme à tel point qu'il perd son utilité, et alors, il nous faudra sans doute chercher un nouveau terme pour décrire la conscience qui est la nôtre, et qui semble qualitativement si différente » (p. 212).

p. 163 Nous ne savons pas comment les micro-organismes traitent l'information

La citation dans le corps du texte est de Nakagaki (2001a, p. 767).

pp. 163-164 Cafards

Rinberg et Davidowitz (2000) écrivent dans un article intitulé *Les cafards “connaissent”-ils la dynamique des fluides ?* : « Les animaux utilisent leurs sens pour extraire des informations sur le monde qui les entoure, de sorte qu'ils doivent être capables d'évaluer les propriétés physiques de leur environnement de façon à construire une perception précise de celui-ci. Par exemple, une chauve-souris a besoin de “connaître” la vitesse du son pour estimer à quelle distance se trouve un objet, bien que l'entrée de données dans un système sensoriel puisse souvent avoir recours à des propriétés encore plus complexes. Ici nous mesurons la réaction à un flot hydrodynamique complexe du système senseur de vent du cafard américain (*Periplaneta Americana*). Nous découvrons que les interneurons de l'insecte relaient une information cruciale sur les propriétés spectrales du vent, qui peut avertir de l'approche de prédateurs. Le cafard sent d'infimes mouvements de l'air grâce à des poils minuscules placés sur deux appendices postérieurs appelés les cerques. Il peut présumer de la direction d'une attaque et se sauver rapidement pour éviter d'être mangé. Les signaux

neuraux des cerques convergent sur le dernier ganglion abdominal, où l'information sur le vent est traitée, puis ils sont convoyés plus loin par des interneurons géants. Bien que ce système partage plusieurs propriétés avec des systèmes plus complexes, il demeure suffisamment simple pour être étudié » (p. 756).

p. 164 Le simple fait d'être implique un savoir

Varela (1996) écrit : « Dans les sciences de la cognition, la recherche sur la compréhension prend donc aujourd'hui une direction que nous pouvons appeler postcartésienne, dans la mesure où il apparaît de plus en plus que la connaissance est constituée de petits domaines, les micromondes et les micro-identités. Ces modes élémentaires de disposition à agir varient dans le règne animal. Mais ce que tous les êtres vivants cognitifs semblent avoir en commun, c'est une connaissance qui est toujours un savoir-faire construit sur la base du concret ; ce que nous appelons le général et l'abstrait sont des agrégats de dispositions à agir. En d'autres termes, les sciences de la cognition prennent conscience que le simple fait d'*être là*, dans le faire face immédiat, est loin d'être purement et simplement une question de "réflexes". En fait, c'est le "véritable travail", puisque, en termes d'évolution, c'est le développement de ces capacités élémentaires qui a pris le plus de temps, alors que l'analyse intentionnelle et rationnelle durant les ruptures ne s'est développée que récemment et très rapidement » (pp. 37-38).

p. 164 Construire une machine qui sache marcher est difficile

Brooks (2002) écrit : « Si l'on en juge par les projets sélectionnés dans les débuts de l'IA (intelligence artificielle), l'intelligence semblait alors être représentée au mieux par des programmations défiant des scientifiques mâles d'un haut niveau d'éducation. Les projets incluaient des choses tel un ordinateur qui joue aux échecs, ou exécute des problèmes d'intégration rencontrés au collège dans la classe de calcul différentiel, ou apporte une preuve à des théorèmes mathématiques et résolve des problèmes très compliqués de langage algébrique. Mais des choses que des enfants de quatre ou cinq ans peuvent faire sans peine, comme distinguer une tasse de café d'une chaise, marcher sur deux jambes, ou trouver le chemin de la chambre à coucher au

salon, ces choses n'étaient pas considérées comme des activités faisant appel à l'intelligence. Pas plus d'ailleurs que le jugement esthétique, aucune de ces activités n'étant incluse dans le répertoire de ressources basées sur l'intelligence. Dès les années quatre-vingt, la plupart des personnes travaillant sur l'intelligence artificielle avaient compris que ces problèmes-là étaient très difficiles à résoudre, et dans la vingtaine d'années qui s'est écoulée depuis lors, beaucoup se sont rendu compte qu'en fait, ils sont bien plus malaisés à résoudre que la série de problèmes précédente. Voir, marcher, naviguer et porter un jugement esthétique ne demandent généralement pas une pensée explicite, ou des chaînes de raisonnement causal. Ce sont des choses qui ont lieu, simplement » (pp. 36-37).

p. 165 Communication cellulaire

Scott et Pawson (2000) écrivent : « Le corps fonctionne de façon correcte uniquement parce que les cellules communiquent constamment entre elles. Les cellules du pancréas, par exemple, libèrent de l'insuline pour dire aux cellules musculaires de tirer du sucre dans le sang afin de réguler l'énergie. Les cellules du système immunitaire avisent leurs cousines d'attaquer les envahisseurs, et les cellules du système nerveux envoient rapidement des messages jusqu'au cerveau et retour. Ces messages ne provoquent les bonnes réponses que parce qu'ils sont transmis avec précision dans les profondeurs d'une cellule réceptrice, et exactement à ces molécules capables d'exécuter les directives » (p. 55). Wade (2000) écrit : « Les cent trillions de cellules du corps se gouvernent à travers un échange de signaux chimiques. Les cellules secrètent des signaux chimiques qui influencent le comportement des autres cellules, et elles reçoivent des messages à travers des récepteurs spéciaux incrustés à leur surface... M. Haseltine a affirmé depuis plusieurs années que la totalité du système de communication du corps humain, un ensemble de quelque 11 000 facteurs de signalement et leurs récepteurs, avait été identifiée et saisie par les Sciences du génome humain (Human Genome Sciences) » (p. 13). Jones (2001) écrit : « Les cellules sont continuellement bombardées de messages d'importance variée. Les diverses cellules d'un organisme ont différentes tâches à accomplir, et pourtant elles reçoivent souvent les mêmes e-mails moléculaires. Les cellules doivent être sélectives,

pour être à même de filtrer les messages appropriés parmi le bourdonnement de fond » (p. 1). La citation dans le corps du texte est de Downward (2001, p. 759).

p. 166 Les bactéries communiquent

Coghlán (2002) écrit : « Les supermicrobes résistant aux antibiotiques sont en train de devenir un énorme problème dans tous les hôpitaux du monde. Et si les chercheurs en Grande-Bretagne ont raison, il en ressort logiquement que ces petits diables peuvent envoyer des signaux à travers l'air, pour dire à d'autres bactéries de mettre en branle leurs gènes de résistance » (p. 12). À ce jour, ce signal aéroporté n'a pas été identifié. Pollack (2001) écrit : « [La recherche] indique que les bactéries, qu'on a longtemps pensé être des opérateurs isolés, ont un système de communication qui leur permet de déterminer combien d'entre elles sont présentes. Ce système a été surnommé "recensement du quorum" car il permet aux bactéries de déterminer si elles sont suffisamment nombreuses pour se lancer dans l'action... Il s'avère que les bactéries sont comme de petites brutes qui ne se battent pas sans le soutien actif de leur gang. Une attaque par un trop petit nombre de bactéries donnerait l'alerte au système immunitaire de leur hôte, qui passerait alors à l'attaque. Les bactéries essaient alors de se tenir à distance du radar jusqu'à ce que leur nombre soit assez élevé pour combattre le système immunitaire » (p. D1). La biologiste moléculaire Bonnie Bassler, spécialisée dans l'identification des molécules que les bactéries utilisent pour communiquer, dit : « Il existe 600 espèces de bactéries sur vos dents tous les matins, et elles ont chaque fois exactement le même positionnement : ce type-là à côté de tel autre, cet autre avec tel voisin, etc. Il nous a semblé qu'un tel exploit est impossible à réaliser si la seule chose que l'on puisse détecter, c'est soi-même. Il faut que vous connaissiez "autrui" » (cité dans Holloway 2004, p. 2).

p. 166 Salmonella s'infiltrer dans les cellules

Voir Donnenberg (1999) et Centofanti (1996).

pp. 166-168 Des protéines intelligentes

Jones (2001) écrit : « Voilà à coup sûr le rêve de tout scientifique :

un équipement de laboratoire qui exécute toutes les expériences à votre place. Continuez à rêver – mais ne cherchez pas plus loin que votre propre corps pour le *nec plus ultra* en matière de laboratoire “intelligent”. Les cellules sont construites avec leur propre appareillage “intelligent”, lequel contient et contrôle les réactions chimiques qui nous maintiennent en vie. L'appareillage “intelligent” d'une cellule est composé de grosses molécules, de structure complexe, appelées protéines. Contrairement au matériau de verre inerte, peu réceptif, utilisé dans les laboratoires de chimie, chaque élément de l'appareillage protéinique est un chimiste à part entière, contrôlant minutieusement une séquence spécifique de réactions chimiques dans la cellule. L'évolution a sélectionné et raffiné cet astucieux “appareillage protéinique” pour gérer intelligemment les millions de réactions qui régissent votre métabolisme... Des équipes de chimistes, utilisant la toute dernière technologie pour conduire des réactions en série, ne sont pas de taille à défier les astucieuses protéines. Ces molécules sont “riches en information”. Comme des éléments de logiciel spécialisés, elles ne répondent qu'à des séries très spécifiques de commandes. Chaque protéine est spécifique par la réaction qu'elle initie et contrôle. C'est le fait d'une seule protéine, d'une seule structure, d'un seul effet » (p. 1). La citation dans le corps du texte est de Miller (1997, p. 328).

p. 167 L'aptitude des protéines à reconnaître

Modlin (2000) écrit : « L'immunité naturelle permet à un organisme de répondre rapidement à un envahissement de micro-organismes. Pour faire cela, le système immunitaire inné utilise des protéines réceptrices qui peuvent reconnaître un agent pathogène microbien par le pattern moléculaire qu'il montre » (p. 659). Kolodner (2000) écrit : « Les protéines de la famille MutS sont de remarquables senseurs de dommages dans l'ADN. Le complexe eucaryote MSH2-MSH6 peut détecter divers types d'erreurs dans l'ADN, produisant diverses conséquences. Par exemple, ce complexe est à même de reconnaître et de réparer des bases mal accouplées résultant d'erreurs de duplication dans l'ADN... Enfin, les protéines eucaryotes MutS peuvent reconnaître des dommages chimiques dans l'ADN, y compris ceux causés par certaines drogues utilisées en chimiothérapie. Cela permet

d'activer les sentiers de signalisation de la mort programmée des cellules plutôt qu'une réparation d'ADN. Les défauts dans ce processus résultent en une résistance cellulaire à ces drogues, et la résistance du cancer à la chimiothérapie. Ainsi, si nous pouvons découvrir comment les protéines MutS sont à même de distinguer entre tant de problématiques possibles dans la structure d'ADN, et de communiquer spécifiquement le long de nombreux sentiers de signalisation en aval, non seulement nous y verrons plus clair dans ce processus biologique fondamental, mais nous en saurons peut-être un peu plus sur les pierres d'achoppement auxquelles se heurte l'efficacité de la chimiothérapie. Plusieurs modèles différents pour expliquer le processus de base de la réparation de bases mal accouplées, tous incluant un élément de "signalisation", ont été proposés. Chez les bactéries, MutS s'attache à une paire erronée, puis interagit avec MutL, en signalant l'activation d'au moins deux autres protéines. L'une de ces protéines crée une rupture dans le fil d'ADN contenant la base incorrecte. L'autre déroule ce segment de fil ADN afin qu'il puisse être détruit. La brèche résultante dans le fil sera alors réparée » (p. 687, 689).

p. 168 L'ubiquitine, une protéine versatile

Marx (2002) écrit : « Une petite protéine appelée ubiquitine se révèle être le Clark Kent de la biologie cellulaire. Comme l'alter ego de Superman, on a longtemps considéré l'ubiquitine comme bénéfique, mais quelque peu stupide, un simple acteur dans le casting de caractères qui exécutent les tâches domestiques de la cellule. Mais des découvertes récentes commencent à montrer qu'elle est une sorte de superhéroïne, et accomplit des exploits que bien peu de gens soupçonnaient. Les premières études ont montré que l'ubiquitine, découverte au milieu des années soixante-dix, faisait partie des services de gardiennage de la cellule. Elle s'attache à d'autres protéines, en les marquant pour qu'elles soient détruites par un large complexe protéinique appelé protéasome. Ce baiser mortel élimine les protéines endommagées, un boulot essentiel mais peut-être insuffisant pour attirer l'attention de Lois Lane. Or la destruction de protéines via l'ubiquitine s'est bientôt révélée tenir un rôle plus spectaculaire : l'aide à la régulation de processus cellulaires clés tel le cycle de division des cellules. Et maintenant, les chercheurs découvrent que les

fonctions de l'ubiquitine vont bien au-delà de ces activités déjà cruciales... Le marquage de l'ubiquitine dirige le mouvement de protéines importantes dans la cellule, déterminant, par exemple, si elles vont finir sur la membrane de la cellule ou dans une vacuole interne, où elles seront détruites sans aide du protéasome... Une autre étude indique que l'ubiquitine et les protéines apparentées jouent un rôle direct dans le contrôle de la machinerie donnant lieu à l'expression des gènes. La molécule à fonctions multiples aide aussi à réguler les nombreux chemins de signalisation contrôlant les réponses de la cellule aux changements environnementaux ou autres » (p. 1792).

p. 170 Jaguars

Angier (2003) écrit : « En raison de son style incroyablement furtif, le jaguar est longtemps resté l'un des membres les moins étudiés de la tribu féline... Combien de chats reste-t-il dans la nature, et de quoi ont-ils besoin pour subsister ? Pourquoi sont-ils de si grands grimpeurs et nageurs, mais de si piètres coureurs ? Comment réussissent-ils à tenir des horaires irréguliers avec tant d'adresse, chassant parfois de jour, parfois au clair de lune ?... Les jaguars sont les maîtres prédateurs de leur habitat, et par conséquent, ils sont utiles comme espèce indicatrice ou vedette. Si les jaguars prospèrent, alors il y a de bonnes chances pour que la plupart des organismes situés plus bas sur la chaîne alimentaire avoisinante se portent bien également. Si, au contraire, des jaguars commencent à s'aventurer hors de leur couvert forestier préféré pour attaquer du bétail, alors il y a probablement quelque chose qui ne va pas dans les bois » (p. 7). Selon Alan Rabinowitz, directeur du programme jaguar de la *Wildlife Conservation Society* (société pour la préservation de la vie sauvage) : « Personne n'a jamais réussi à filmer une femelle sauvage à découvert avec ses petits. Vous verrez la mère. Vous verrez des signes de la présence des petits. Mais vous ne verrez pas les petits eux-mêmes » (cité dans Angier 2003, p. 7).

BIBLIOGRAPHIE

AIDSESEP – Asociación Interétnica de Desarrollo de la Selva Peruana
2000, *El ojo verde : cosmovisiones amazónicas*, Lima, Peru, AIDSESEP/Fundación Telefonica.

ANGIER, Natalie

2003, « The jaguar, a contradictory cat », *International Herald Tribune*, 19 June, p. 7.

ARHEM, Kaj

1996, « The cosmic food web : human-nature relatedness in the Northwest Amazon », in *Nature and Society : Anthropological Perspectives*, Philippe Descola et Gísli Pálsson, eds., pp. 185-204, London, Routledge.

ARIKAWA, Kentaro

1999, « Color vision », in *Atlas of Insect Sensory Receptors : Dynamic Morphology in Relation to Function*, E. Eguchi and Y. Tominaga, eds., pp. 23-32, Tokyo, Springer-Verlag.

2001, « Hindsight of butterflies », *BioScience*, 51 (3) : 219-225.

ARIKAWA, Kentaro *et al.*

1980, « Multiple extraocular photoreceptive areas on genitalia of butterfly », *Papilio xuthus*, *Nature*, 288 : 700-702.

ARIKAWA, Kentaro, KINOSHITA Michiyo, et STAVENGA Doekele G.

2004, « Color vision and retinal organization in butterflies », in *Complex Worlds from Simpler Nervous Systems*, Frederick Prete, ed., pp. 193-219, Cambridge, Mass., The M.I.T. Press.

ASQUITH, Pamela J.

1986, « Anthropomorphism and the Japanese and Western traditions in primatology », in *Primate Ontogeny, Cognition, and Social Behavior*, James G. Else et Phyllis C. Lee, eds., pp. 61-71, Cambridge, Cambridge University Press.

1997, « Why anthropomorphism is *not* metaphor : crossing concepts and cultures in animal behavior studies », in *Anthropomorphism, Anecdotes, and Animals*, Robert W. Mitchell *et al.*, eds., pp. 22-34, Albany, NY, State University of New York Press.

ATTENBOROUGH, David

1995, *The Private Life of Plants*, Princeton, Princeton University Press.

BACON, Francis

1960 (orig. 1620), *The New Organon and Related Writings*, New York, Liberal Arts Press.

BAHN, Paul G., et VERTUT Jean

1998, *Journey through the Ice Age*, London, Weidenfeld and Nicolson.

BÉGOUËN, Henri

1929, « The magic origin of prehistoric art », *Antiquity*, III (9) : 5-19.

BEHE, Michael J.

2001, « Darwin's breakdown : irreducible complexity and design at the foundation of life », in *Signs of Intelligence : Understanding Intelligent Design*, William A. Dembski et James M. Kushiner, eds., pp. 90-101, Grand Rapids, Michigan, Brazos Press.

BEKOFF, Marc

2002, *Minding Animals : Awareness, Emotions, and Heart*, Oxford, Oxford University Press.

BEVERIDGE, W.I.B.

1950, *The Art of Scientific Investigation*, London, Heinemann.

BHATTACHARJEE, Yudhijit

2003, « With an evolutionary milestone, the race for survival began », *NYTimes.com*, 18 February, pp. 1-4.

BLAKESLEE, Sandra

1996, « Complex and hidden brain in the gut makes cramps, butterflies and valium », *New York Times*, January 23, pp. B5, B10.

2003, « Humanity ? Maybe it's all in the wiring », *International Herald Tribune*, 11 December, p. 7.

BROOKS, Rodney A.

2002, *Flesh and Machines : How Robots Will Change Us*, New York, Vintage Books.

BUHNER, Stephen Harrod

2002, *The Lost Language of Plants : the Ecological Importance of Plant Medicines to Life on Earth*, White River Junction, Vermont, Chelsea Green Press.

CALOW, Peter,

1976, *Biological Machines : a Cybernetic Approach to Life*, London, Edward Arnold.

CAMPBELL, Joseph

1959, *The Masks of God : Primitive Mythology*, New York, Arkana.

CANETTI, Elias

1960, *Masse und Macht*, Düsseldorf, Claassen Verlags GmbH.

CARTER, Rita

1998, *Mapping the Mind*, London, Phoenix Books.

CATCHPOLE, C.K., et SLATER P.J.B.

1995, *Bird Song : Biological Themes and Variations*, Cambridge, Cambridge University Press.

CENAMI SPADA, Emanuela

1997, « Amorphism, mechanomorphism, and anthropomorphism », in *Anthropomorphism, Anecdotes, and Animals*, Robert W. Mitchell *et al.*, eds., pp. 37-49, Albany, NY, State University of New York Press.

CENTOFANTI, Marjorie

1996, « Just lookin' for a home : many bacteria sneak into cells via entry routes already in place », *Science News*, 149 : 12-3.

CHAUVET, Jean-Marie, BRUNEL-DESCHAMPS Éliette, et HILLAIRE Christian

1996, *Dawn of Art : the Chauvet Cave*, New York, Harry N. Abrams. (En français, 1995, *La Grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc*, Paris, Éditions du Seuil.)

CLOTTES, Jean *et al.*

2001, *La Grotte Chauvet : l'art des origines*, Paris, Éditions du Seuil.

CLOTTES, Jean, et LEWIS-WILLIAMS David

1996, *Les Chamanes de la préhistoire : transe et magie dans les grottes ornées*, Paris, Éditions du Seuil.

COGHLAN, Andy

2002, « Bugs Broadcasting Corporation : bacteria have learned to transmit information over the airwaves », *New Scientist*, 13 April, p. 12.

COHEN, David

1996, *The Secret Language of the Mind : a Visual Inquiry into the Mysteries of Consciousness*, San Francisco, Chronicle Books.

COLBURN, Don

1999, « The infinite brain », *The Brain in the News*, 6 (17) : 1-3.

CONNERS, Barry W.

2002, « Single-neuron mnemonics », *Nature*, 420 : 133-4.

CURRIE, Cameron R. *et al.*

1999, « Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites », *Nature*, 398 : 701-4.

DAMASIO, Antonio

1999a, *The Feeling of What Happens : Body and Emotion in the Making of Consciousness*, New York, Harcourt. (En français, 2002, *Le Sentiment même de soi : corps, émotion, conscience*, Paris, Odile Jacob.)

1999b, « How the brain creates the mind », *Scientific American*, 281 (6) : 74-9.

2003, *Looking for Spinoza : Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*, New York, Harcourt. (En français, 2003, *Spinoza avait raison : le cerveau des émotions*, Paris, Odile Jacob.)

DARWIN, Charles

1872, *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, London, John Murray. (En français, 2001, *L'Expression des émotions chez l'homme et les animaux*, Paris, Rivages.)

1968 (orig. 1859), *The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, London, Penguin. (En français, 1999, *L'Origine des espèces*, Paris, Flammarion.)

1998 (orig. 1871), *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, Amherst, NY, Prometheus Books. (En français, 1881, *La Descendance de l'homme et la sélection naturelle*, Paris, Paris-Reinwald.)

DAVE, Amish S., et MARGOLIASH Daniel

2000, « Song replay during sleep and computational rules for sensorimotor vocal learning », *Science*, 290 : 812-6.

DAVENPORT, Demorest, et JOCHIM Michael A.

1988, « The scene in the Shaft at Lascaux », *Antiquity*, 62 : 558-62.

DAVEY, Andrew

2003, *Detail : Exceptional Japanese Product Design*, London, Laurence King Publishing.

DAVIDSON, Keay

2001, « Bees brighter than we knew, study finds. They pass cognitive tests usually given apes, people », *San Francisco Chronicle*, 19 April, p. A1.

DAVIES, Gareth Huw

2002, « Bird brains », [http ://www.pbs.org/lifeofbirds/brain/](http://www.pbs.org/lifeofbirds/brain/)

DAVIES, Roger J., et IKENO Osama

2002, *The Japanese Mind : Understanding Contemporary Japanese Culture*, Boston, Tuttle Publishing.

DAVIS, Wade

1998, *Shadows in the Sun : Travels to Landscapes of Spirit and Desire*, Washington D.C., Island Press.

DAWKINS, Richard

1976, *The Selfish Gene*, Oxford, Oxford University Press. (En français, 2003, *Le Gène égoïste*, Paris, Odile Jacob.)

DEMBSKI, William

1999, *Intelligent Design : the Bridge between Science and Theology*, Downers Grove, Illinois, InterVarsity Press.

DENNETT, Daniel

1998, *Brainchildren : Essays on Designing Minds*, Cambridge, Mass., MIT Press.

DENTON, Michael

2002, « Organism and machine : the flawed analogy », in *Are We Spiritual Machines*, Jay Richards *et al.*, eds., pp. 78-97, Seattle, Discovery Institute.

DERRINGTON, Andrew

2000, « Repair for damaged brains : new tools hold promise », *BrainWork*, March-April, pp. 1-3.

DESCARTES, René

1953, *Œuvres et lettres*, Paris, Gallimard.

DESCOLA, Philippe

1986, *La Nature domestique : symbolisme et praxis dans l'écologie des Achuar*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

1999, « Diversité biologique, diversité culturelle », in *Nature sauvage, nature sauvée : écologie et peuples autochtones*, Survival International (France), ed., pp. 213-234, Paris, Survival International.

DIAMOND, Jared M.

1999, « Dirty eating for healthy living », *Nature*, 400 : 120-1.

DONNENBERG, Michael S.

1999, « *Salmonella* strikes a balance », *Nature*, 401 : 218-9.

DOWNWARD, Julian

2001, « The ins and outs of signalling », *Nature*, 411 : 759-762.

DUBOCHET, Jacques, NARBY Jeremy, et KIEFER Bertrand

1997, *L'ADN devant le souverain : science, démocratie et génie génétique*, Genève, Georg Éditeur.

DUGATKIN, Lee

1999, *Cheating Monkeys and Citizen Bees*, New York, The Free Press.

DYSON, George B.

1997, *Darwin among the Machines : the Evolution of Global Intelligence*, Cambridge, Mass., Perseus Books.

EAGLEMAN, David M., et SEJNOWSKI Terence J.

2000, « Motion integration and postdiction in visual awareness », *Science*, 287 : 2036-8.

ELIADE, Mircea

1951, *Le Chamanisme et les techniques archaïques de l'extase*, Paris, Payot.

EMERY, N.J., et CLAYTON N.S.

2001, « Effects of experience and social context on prospective caching strategies by scrub jays », *Nature*, 414 : 443-6.

ENGEL, Cindy

2002, *Wild Health : How Animals Keep Themselves Well and What We Can Learn From Them*, New York, Houghton Mifflin.

ENSMINGER, Peter A.

2001, *Life under the Sun*, New Haven, Yale University Press.

Environmental News Network

2001, « Most mammal species found in Peruvian Amazon », 3 July, [http ://www.enn.com/enn-stories/2001/07/07032001/amazon_44167.asp](http://www.enn.com/enn-stories/2001/07/07032001/amazon_44167.asp)

ERIKSSON, P.S. *et al.*

1998, « Neurogenesis in the adult hippocampus », *Nature Medicine*, 4 (11) : 1313-7.

FAGAN, Brian

1990, *Journey from Eden : the Peopling of the World*, New York, Thames and Hudson.

FRANKLIN, Stanley P.

1995, *Artificial Minds*, Cambridge, MA, The M.I.T. Press.

FRAZER, James G.

1888, « The Language of Animals », *The Archaeological Review*, 1 (2) : 180-1.

FUSTER, Joaquín M.

2003, *Cortex and Mind : Unifying Cognition*, Oxford, Oxford University Press.

GAGE, Fred H.

2003, « Repair yourself », *Scientific American*, 289 (3) : 29-35.

GARDNER, Howard

1999, *Intelligence Reframed : Multiple Intelligences for the 21st Century*, New York, Basic Books.

GENTRY, Alwyn H.

1988, « Tree species richness of upper Amazonian forests », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85 : 156-9.

GIEDION, S.

1957, *The Eternal Present. I. The Beginnings of Art*, New York, Bollingen Foundation.

GILARDI, James D. *et al.*

1999, « Biochemical functions of geophagy in parrots : detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects », *Journal of Chemical Ecology*, 25 (4) : 897-922.

GILROY, Simon, et TREWAVAS Anthony

2001, « Signal processing and transduction in plant cells : the end

of the beginning ? », *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, vol. 2, April, pp. 307-314.

GILROY, Simon, READ N.D., et TREWAVAS Anthony

1990, « Elevation of stomatal cytosol calcium by photolysis of loaded caged probes initiates stomatal closure », *Nature*, 346 : 769-771.

GIURFA, Martin

2004, « Comportement et cognition : ce que nous apprend un mini-cerveau », in *L'Éthologie cognitive*, Jacques Vauclair et Michel Kreutzer, éd., pp. 83-99, Paris, Éditions Ophrys et Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

GIURFA, Martin *et al.*

2001, « The concept of "sameness" and "difference" in an insect », *Nature*, 410 : 930-933.

GRAND, Steve

2001, *Creation : Life and How to Make It*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

GRAY, John

2002, *Straw Dogs : Thoughts on Humans and Other Animals*, London, Granta.

GRAYLING, A.C.

1997, « Consciousness – the final frontier », *Financial Times*, July 26-7, p. VI (Weekend).

GREENFIELD, Susan

2000, *Brain Story : Unlocking our Inner World of Emotions, Memories, Ideas and Desires*, London, BBC.

GRIFFIN, Donald R.

1976, *The Question of Animal Awareness : Evolutionary Continuity of Mental Experience*, New York, The Rockefeller University Press.

GUSS, David M., ed.

1985, *The Language of the Birds : Tales, Texts and Poems of Inter-species Communication*, San Francisco, North Point Press.

HALL, Stephen S.

1998, « Our memories, our selves », *New York Times Magazine*, February 15, pp. 26-33, 49, 56-57.

HOFFECKER, John F.

2002, *Desolate Landscapes : Ice-Age Settlement in Eastern Europe*, New Brunswick, NJ, Rutgers University Press.

HOFFMANN, Roald, MINKIN Vladimir I., et CARPENTER Barry K.

1996, « Ockham's razor and chemistry », *Bulletin Société chimique française*, 133 : 117-130.

HOLLOWAY, Marguerite

2003, « The mutable brain », *Scientific American*, 289 (3) : 59-65.

2004, « Talking bacteria », *Scientific American*, 290 (2) : 22-3.

HUME, David

1778 (orig. 1739), *A Treatise of Human Nature*, Oxford, Oxford University Press.

HUNT, Gavin R.

1996, « Manufacture and use of hook-tools by New Caledonia crows », *Nature*, 379 : 249-51.

HUXLEY, Julian

1923, *Essays of a Biologist*, London, Chatto and Windus.

INGOLD, Tim

1988, « The animal in the study of humanity », in *What is an Animal ?*, Tim Ingold, ed., pp. 84-99, London, Unwin Hyman.

1994, « Humanity and animality », in *Companion Encyclopedia of Anthropology*, Tim Ingold, ed., pp. 14-32, London, Routledge.

1997, « Human worlds are culturally constructed : against the motion », in *Key Debates in Anthropology*, Tim Ingold, ed., pp. 112-8, London, Routledge.

INGRAM, Jay

2000, « Brains can “know” before people do », *The Brain in the News*, 7 (17) : 2.

JOHNSON, Steven

2001, *Emergence : the Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*, New York, Scribner.

JONES, Phil

2001, « Smart proteins », *New Scientist*, 17 March, Inside Science, pp. 1-4.

KAMIL, Alan C., et BALDA Russell P.

1985, « Cache recovery and spatial memory in Clark's nutcrackers (*Nucifraga columbiana*) », *Journal of Experimental Psychology*, 11 (1) : 95-111.

KAMPIS, George

1998, « Where is the land of signs ? », *Semiotica*, 120 (3-4) : 263-71.

KATRITCH, V, OLSON W.K., PIERANSKI P., DUBOCHET J., et STASIAK A.

1997, « Properties of ideal composite knots », *Nature*, 388 : 148-151.

KAWADE, Yoshimi

1998, « Imanishi Kinji's biosociology as a forerunner of the semiosphere concept », *Semiotica*, 120 (3-4) : 273-97.

KELLY, Colleen K.

1992, « Resource choice, in *Cuscuta europea* », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89 : 12194-12197.

KENNEDY, Donald

2002, « Are there things we'd rather not know ? », *BrainWork*, May-June, pp. 6-7.

KENNEDY, John S.

1992, *The New Anthropomorphism*, New York, Cambridge University Press.

KIM, Karl H.S. *et al.*

1997, « Distinct cortical areas associated with native and second languages », *Nature*, 388 : 171-4.

KINOSHITA, Michiyo, SHIMIDA Naoko, et ARIKAWA Kentaro

1999, « Color vision of the foraging swallowtail butterfly *Papilio xuthus* », *Journal of Experimental Biology*, 202 : 95-102.

KINOSHITA, Michiyo, et ARIKAWA Kentaro

2000, « Color constancy of the swallowtail butterfly *Papilio xuthus* », *Journal of Experimental Biology*, 203 : 3521-3530.

KOLODNER, Richard D.

2000, « Guarding against mutation », *Nature*, 407 : 687-9.

KULL, Kalevi

1998, « On semiosis, Umwelt, and the semiosphere », *Semiotica*, 120 (3-4) : 299-310.

KUPER, Adam

1994, *The Chosen Primate*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

KURZWEIL, Ray

1999, *The Age of Spiritual Machines : when Computers exceed Human Intelligence*, New York, Penguin Books.

2002, « Applying organic design principles to machines is not an analogy but a sound strategy : response to Michael Denton », in *Are*

we Spiritual Machines ?, Jay Richards *et al.*, eds., pp. 172-182, Seattle, Discovery Institute.

LANIER, Jason

2000, « One-half of a manifesto », *Wired*, December, pp. 158-79.

LECLERC, Rama

2003, *Des modes de socialisation par les plantes chez les Shipibo-Conibo d'Amazonie péruvienne*, thèse de doctorat en Anthropologie sociale et culturelle, Paris, université de Nanterre.

LEDoux, Joseph

1996, *The Emotional Brain : the Mysterious Underpinnings of Emotional Life*, New York, Touchstone Books.

2002, *Synaptic Self : how our Brains become who we are*, New York, Penguin.

LESLIE, Mitchell

2002, « Life in the colonies », *Stanford* (January/February), 38-45.

LEVY, Sharon

2001, « Critters with attitude », *New Scientist*, 2 June, pp. 34-7.

LEYS, Sally P., et MACKIE George O.

1997, « Electrical recording from a glass sponge », *Nature*, 387 : 29-30.

LEYS, Sally P., MACKIE George O., et MEECH R.W.

1999, « Impulse conduction in a sponge », *Journal of Experimental Biology*, 202 (9) : 1139-50.

LINDEN, Eugen

2002, *The Octopus and the Orangutan : More True Stories of Animal Intrigue, Intelligence, and Ingenuity*, New York, Dutton.

LLINÁS, Rodolfo R.

2001, *I of the Vortex : From Neurons to Self*, Cambridge, Mass., The MIT Press.

LOCKE, John

1975 (orig. 1689), *An Essay concerning Human Understanding*, Oxford, Clarendon Press.

MACKLIS, Jeffrey D.

2001, « New memories from new neurons », *Nature*, 410 : 314-5.

MANIER, Jeremy

1999, « A visit with Antonio Damasio, who is prying loose the secrets of consciousness », *The Brain in the News*, 6 (18) : 3.

MARX, Jean

2002, « Ubiquitin lives up to its name », *Science*, 297 : 1792-4.

MATTHEWS, Gary

2000, « Vesicle fiesta at the synapse », *Nature*, 406 : 835-6.

McDOUGALL, Ian *et al.*

2005, « Stratigraphic placement and age of modern humans from Kibish, Ethiopia », *Nature*, 433 : 733-36.

McGINN, Colin

1999, *The Mysterious Flame : Conscious Minds in a Material World*, New York, Basic Books.

MENZEL, Randolph, et GIURFA Martin

2001, « Cognitive architecture of a mini-brain : the honeybee », *Trends in Cognitive Sciences*, 5 (2) : 62-71.

MILLER, Christopher

1997, « Cuddling up to channel activation », *Nature*, 389 : 328-9.

MITTERMEIER, Russell A. *et al.*

1999, *Hotspots : Earth's Biologically Richest and most Endangered Terrestrial Ecoregions*, Mexico City, CEMEX – Conservation International.

MODLIN, Robert L.

2000, « A toll for DNA vaccines », *Nature*, 408 : 659-60.

MONOD, Jacques

1971, *Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Éditions du Seuil.

MORGAN, C.L.

1894, *An Introduction to Comparative Psychology*, London, Scott.

Mouse Genome Sequencing Consortium

2002, « Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome », *Nature*, 420 : 520-562.

MUKERJEE, Madhusree

1996, « Interview with a parrot », *Scientific American*, 274 : 23.

MUNN, Charles A.

1986a, « The deceptive use of alarm calls by sentinel species in mixed-species flocks of neotropical birds », in *Deception : Perspectives on Human and Nonhuman Deceit*, R.W. Mitchell et N.S. Thompson, eds., pp. 169-175, Albany, N.Y., State University of New York Press.

1986b, « Birds that “cry wolf” », *Nature*, 319 : 143-5.

Muséum national d'histoire naturelle

1999, *Mille cerveaux, mille mondes*, Paris, Muséum national d'histoire naturelle.

NADER, Karim, SCHAFE Glenn E., et LEDOUX Joseph

2000, « Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval », *Nature*, 406 : 722-6.

NADIS, Steve

2001, « The ultimate wiring job », *BrainWork*, July-August, p. 4.

NAKAGAKI, Toshiyuki

2001a, « Smart behavior of true slime mold in a labyrinth », *Research in Microbiology*, 152 : 767-770.

2001b, « Amoeboid organisms may be more clever than we had thought », *RIKEN Newsletter*, 1 (1) : 8-12.

NAKAGAKI, Toshiyuki, YAMADA Hiroyasu, et TÓTH Agota

2000, « Maze-solving by an amoeboid organism », *Nature*, 407 : 470.

2001, « Path finding by tube morphogenesis in an amoeboid organism », *Biophysical Chemistry*, 92 : 47-52.

NAKAGAKI, Toshiyuki, YAMADA Hiroyasu, et HARA Masahiko

2004, « Smart network solutions in an amoeboid organism », *Biophysical Chemistry*, 107 : 1-5.

NARBY, Jeremy

1995, *Le Serpent cosmique, l'ADN et les origines du savoir*, Genève, Georg Éditeur.

1998, *The Cosmic Serpent : DNA, and the origins of knowledge*, New York, Jeremy P. Tarcher/Putnam.

2002, « Chamanes et scientifiques », in *Chamanes au fil du temps : cinq cents ans sur la piste du savoir*, Jeremy Narby et Francis Huxley, eds., pp. 318-23, Paris, Albin Michel.

NURSE, Paul

1997, « The ends of understanding », *Nature*, 387 : 657.

ORESQUES, Naomi, SHRADER-FRECHETTE Kristin, et BELITZ Kenneth

1994, « Verification, validation, and confirmation of numerical models in the Earth sciences », *Science*, 263 : 641-6.

PASSINGHAM, Richard E.

2002, « The frontal cortex : does size matter ? », *Nature Neuroscience*, 5 (3) : 190-2.

PATTE, Étienne

1960, *Les Hommes préhistoriques et la religion*, Paris, A. et J. Picard et Cie.

PEEBLES, James

2003, « La cosmologie avance dans le noir », *La Recherche*, 363 : 67-70.

PEPPERBERG, Irene M.

1999, *The Alex Studies : Cognitive and Communicative Abilities of Grey Parrots*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

PHILIPS, Helen

2002, « Not just a pretty face », *New Scientist*, 175 : 40-44.

POLLACK, Andrew

2001, « Drug makers listen in while bacteria talk », *New York Times*, February 27, pp. D1, D7.

REICHEL-DOLMATOFF, Gerardo

1976, « Desana curing spells : an analysis of some shamanistic metaphors », *Journal of Latin American Lore*, 2 (2) : 157-219.

1978, « Desana animal categories, food restrictions, and the concept of color energies », *Journal of Latin American Lore*, 4 (2) : 243-91.

1987, *Shamanism and Art of the Eastern Tukanoan Indians*, New York, E.J. Brill.

REISS, Diana, et MARINO Lori

2001, « Mirror self-recognition in the bottlenose dolphin : a case of cognitive convergence », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98 : 5937-42.

RESTAK, Richard

2001, *The Secret Life of the Brain*, Washington, D.C., The Dana Press and the Joseph Henry Press.

RICHARDSON, Ken

2000, *The Making of Intelligence*, London, Weidenfeld and Nicolson.

RIDLEY, Matt

1996, *The Origins of Virtue : Human Instincts and the Evolution of Cooperation*, London, Penguin.

RINBERG, D., et DAVIDOWITZ H.

2000, « Do cockroaches “know” about fluid dynamics ? », *Nature*, 405 : 756.

RUSSELL, Sharman Apt

2002, « Talking plants », *Discover*, 23 (4) : 47-50.

RYAN, Clarence A.

2001, « Night moves of pregnant moths », *Nature*, 410 : 530-1.

SAVAGE, Candace

1995, *Bird Brains : the Intelligence of Crows, Ravens, Magpies, and Jays*, San Francisco, Sierra Club Books.

SCHOPENHAUER, Arthur

1970 (orig. 1851), *Essays and Aphorisms*, London, Penguin.

SCHULTZ, Ted R.

1999, « Ants, plants and antibiotics », *Nature*, 398 : 747-8.

SCOTT, John D., et PAWSON Tony

2000, « Cell communication : the inside story », *Scientific American*, 282 (6) : 54-61.

SEARLE, John

1987, « Minds and brains without programs », in *Mindwaves*, Colin

Blakemore et Susan Greenfield, eds., pp. 209-33, Oxford, Basil Blackwell.

SHANON, Benny

2002, *The Antipodes of the Mind : Charting the Phenomenology of the Ayahuasca Experience*, Oxford, Oxford University Press.

SHAROV, Alexei A.

1998, « From cybernetics to semiotics in biology », *Semiotica*, 120 (3-4) : 403-419.

SHEPARD, Glenn H.

1998, « Psychoactive plants and ethnopsychiatric medicines of the Matsigenka », *Journal of Psychoactive Drugs*, 30 (4) : 321-2.

SKINNER, Burrhus Frederic

1959, « A case history in scientific method », in *Cumulative Record : Definitive Edition*, B.F. Skinner, pp. 108-31, New York, Appleton-Century-Crofts, Inc.

SKUTCH, Alexander F.

1996, *The Minds of Birds*, College Station, Texas A & M University Press.

SMITH, Dinitia

1999, « A thinking bird or just another birdbrain ? » *New York Times*, 9 October, pp. A1, A17.

SPECTER, Michael

2001, « Rethinking the brain : how the songs of canaries upset a fundamental principle of science », *The New Yorker*, July 23, pp. 42-53.

STENHOUSE, David

1974, *The Evolution of Intelligence : a General Theory and some of its Implications*, London, George Allen + Unwin Ltd.

STEPHENSON, Steven L., et STEMPEN Henry

1994, *Myxomycetes : a Handbook of Slime Molds*, Portland, Oregon, Timber Press.

STERN, Pamela R.

1999, « Learning to be smart : an exploration of the culture of intelligence in a Canadian Inuit community », *American Anthropologist*, 101 (3) : 502-14.

STEVENS, Charles F.

1996, « Strengths and weaknesses in memory », *Nature*, 381 : 471-2.

STIX, Gary

2003, « Ultimate self-improvement », *Scientific American*, 289 (3) : 26-7.

STRINGER, Chris

2003, « Out of Ethiopia », *Nature*, 423 : 692-5.

TERBORGH, John

1999, *Requiem for Nature*, Washington, D.C., Island Press.

THOMAS, Lewis

1974, *The Lives of a Cell : Notes of a Biology Watcher*, New York, Viking Penguin.

TOWNSLEY, Graham

2001, « Kamaroa : a shamanic revival in the Western Amazon », *Shamanism*, 14 (2) : 49-52.

TREWAVAS, Anthony

1999a, « Le calcium, c'est la vie : calcium makes waves », *Plant Physiology*, 120 : 1-6.

1999b, « How plants learn », *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96 : 4216-8.

2002, « Mindless mastery », *Nature*, 415 : 841.

2003, « Aspects of plant intelligence », *Annals of Botany*, 92 : 1-20.

VAADIA, Eilon

2000, « Learning how the brain learns », *Nature*, 405 : 523-5.

VARELA, Francisco J.

1996, *Quel savoir pour l'éthique ? Action, sagesse et cognition*, Paris, La Découverte.

VERTOSICK, Frank T. Jr.

2002, *The Genius within : Discovering the Intelligence of every Living Thing*, New York, Harcourt.

VIEGAS, Jennifer

2000, « Is slime intelligent ? », *Discovery.com News*, September 27, www.discovery.com/news

VINES, Gail

2001, « Other minds » (interview de Donald Griffin), *New Scientist*, 30 June, pp. 48-51.

VITEBSKY, Piers

1995, *The Shaman : Voyages of the Soul, Trance, Ecstasy and Healing from Siberia to the Amazon*, London, MacMillan. (En français, 2001, *Les Chamanes : le grand voyage de l'âme, forces magiques, extase et guérison*, Paris, Evergreen.)

DE WAAL, Frans

2001, *The Ape and the Sushi Master : Cultural Reflections by a Primatologist*, New York, Basic Books. (En français, 2001, *Quand les singes prennent le thé : de la culture animale*, Paris, Fayard.)

WADE, Nicholas

1997, « Dainty worm tells secrets of the human genetic code », *New York Times*, June 24, pp. B9, B12.

1998, « Of men and mice : here they come to save the day », *New York Times*, Sunday, May 10, p. WK 5.

- 1999, « For leaf-cutter ants, farm life isn't so simple », *New York Times*, 3 August, pp. D1, D4.
- 2000, « High hopes for regenerative medicine », *International Herald Tribune*, November 9, p. 13.
- WAKKER, Bart P., et RICHTER Philipp
2004, « Our growing, breathing galaxy », *Scientific American*, 290 (1) : 28-37.
- WATANABE, Shigeru
2001, « Van Gogh, Chagall and pigeons : picture discrimination in pigeons and humans », *Animal Cognition*, 4 : 147-151.
- WHITEN, Andrew, et BOESCH Christophe
2001, « The cultures of chimpanzees », *Scientific American*, 284 : 48-55.
- WHITFIELD, John
2001, « Making crops cry for help », *Nature*, 410 : 736-7.
- WIGGLESWORTH, V.B.
1980, « Do insects feel pain ? », *Antenna*, 4 : 8-9.
- WIJESINGHE, D.K., et HUTCHINGS M.J.
1999, « The effects of environmental heterogeneity on the performance of *Glechoma hederacea* : the interactions between patch contrast and patch scale », *Journal of Ecology*, 87 : 860-872.
- WILKINSON, Gerald S.
1984, « Reciprocal food sharing in the vampire bat », *Nature*, 308 : 181-4.
- WILSON, Edward O.
1993, « Biophilia and the conservation ethic », in *The Biophilia Hypothesis*, Edward O. Wilson et Stephen Kellert, eds., pp. 31-41, Washington, D.C., Island Press.

2002, *The Future of Life*, New York, Alfred A. Knopf. (En français, 2003, *L'Avenir de la vie*, Paris, Éditions du Seuil.)

WITZANY, Günther

1998, « Explaining and understanding LIFE », *Semiotica*, 120 (3-4) : 421-38.

ZIMMER, Carl

1998, « The slime alternative », *Discover* 19 (9) : 86-93.

INDEX DES NOMS

- Abeilles : 15, 59, 71-82, 139, 143, 162.
Acides aminés : 159, 167.
Adaptation : 95.
ADN : 13, 40, 53, 55, 92, 96, 152, 159, 167, 168, 169.
Agnostique : 33, 39, 235.
Amazonie : 13, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 24, 31, 33, 34, 36, 43, 45, 48, 51, 55, 68, 82, 94, 108, 119.
Amibes : 84, 115, 116.
Andres, Hector Toyeri : 24.
Animaux : 86 ;
 cruauté envers, 111 ;
 savoir des, 36 ;
 comme machines, 59-66, 137, 141 ;
 esprits des, 44, 50 ;
 capacité de penser, 49-50, 134-135.
Animisme : 120.
Anthropomorphisme : 60, 61, 68.
Antibiotiques : 57.
Aras : 22-29, 177.
Arbres : 21, 23, 24, 33, 46, 47, 48.
Archimède : 127.
Arevalo Valera, Guillermo : 43.
Arikawa, Kentaro : 130-142, 229.
Aristote : 60.
ARN : 53, 113, 159, 163, 168.
Ashaninca : 33, 35, 38.
Athéisme : 41.
Australopithèques : 93.
Ayahuasca : 33, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 50.
Bacon, Francis : 60.
Bactéries : 53, 55, 91, 116, 146, 166.
Caenorhabditis elegans : 88, 90.
Cafards : 163, 164, 169.
Carter, Rita : 97.
Cellules : 40, 41, 87, 88, 89, 90, 97, 102, 107, 108, 110, 112, 117, 145, 146, 149, 154, 155, 159, 163, 165, 166, 168, 169.
Centre national de recherche scientifique (CNRS) : 72.
Cerveau :
 animaux sans, 87-88 ;
 oiseau, 30 ;
 émotionnel, 149 ;
 humain, 96-99, 143, 146-157 ;
 techniques d'imagerie, 147-149 ;
 insecte, 56-57, 71-84, 133 ;
 reptilien, 97.
Chamanes, 13-16 ;
 utilisation de plantes hallucinogènes, 51 ;
 travail de, 52 ;
 et les signes de la nature, 159 ;
 chants, 36, 50.
Chamanisme :
 dialogue avec la nature, 31-32, 52 ;
 familiarité avec la mort, 37 ;

- moderne, 45 ;
Shipibo, 45.
Chanchari , Nahwiri Rafael : 46, 49.
Chauves-souris : 55, 200.
Chauvet : 52, 195.
Chimpanzés : 55, 56, 66, 93, 198, 206, 247.
Chi-sei : 15, 120, 121, 127, 143, 159-170.
Christianisme : 119.
Communication :
bactérienne, 166 ;
cellulaire, 112-113, 169.
Conscience : 121, 122, 125, 126, 156, 161.
Corbeaux : 30, 55.
Cortex cérébral : 146, 149, 152, 153.
Couleurs :
perception des, 131-133.
Cro-Magnon : 95.
Cuscute : 106, 107.
Damasio, Antonio : 151.
Darwin : 62, 63, 64, 67.
Dauphins : 55, 56, 82, 159.
Davey, Andrew : 138.
Descartes, René : 61, 62, 137, 142, 143, 144, 155.
Dessein intelligent : 40.
De Waal : 68.
Diversité : 41.
Douleur : 61, 62, 79, 82, 102, 111, 139.
Downward, Julian : 165.
Édimbourg (Écosse) : 101, 102, 103, 110, 113.
Émergence : 76, 77.
Émotions : 63, 65, 66, 97, 137, 150, 151.
Enzymes : 109, 165, 167, 169.
Éponges : 87.
Escargots : 89, 152.
Estonie : 16.
Êtres hybrides : 51.
Évolution : 40, 141.
Flores Salazar, Juan : 33.
Fourmis : 25, 49, 56, 57, 63, 67.
Fuster, Joaquín : 153.
Giurfa, Martin : 71-85, 139.
Glucose : 148.
Greenfield, Susan : 98.
Griffin, Donald : 59.
Hallucinations : 39.
Hasard : 40, 41, 56, 59, 107, 123, 132.
Hémoglobine : 167.
Hippocampe : 97.
Histoire de la biologie : 60.
Hominidés : 93, 96.
Homo sapiens : 93, 94, 103.
Homo sapiens sapiens : 94, 95, 143.
Humain : 18, 24, 31, 32, 35, 36, 41, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 68, 90, 91, 93-99, 103-108, 119, 120, 122, 124, 126, 131, 132, 133, 138, 143-157, 159-165, 169, 170.
Hydres : 88.
Icaros : 36.
Insectes : 25, 49, 57, 64, 71-85, 133, 134, 139, 163, 169.
Instinct : 24, 77.
Intelligence :
oiseau, 21-32 ;
définition, 57-58, 99, 160 ;
insecte, 56-57, 63-64, 71-84, 131-142 ;
nature, 34-35, 119-121 ;
nouvelle recherche sur, 55-56 ;
des plantes, 36, 82-83, 101-104 ;
protéine, 166-168 ;
myxomycètes, 115-127.
Invertébrés : 74, 78, 81, 88, 89, 90, 92, 93, 96, 139.
Iquitos : 45, 51.
Jaguar : 37, 50, 51, 96, 170.

- Japon : 66, 84, 117, 119, 121, 130, 136, 137, 141, 143.
 Kamarambi, Usi : 48, 49.
 Kandoshi : 48, 49, 50.
 Karijuna, Akushti Butuna : 47, 49.
 Kawade, Yoshimi : 160.
 Kelly, Colleen : 106.
 Kichwa : 47, 48, 49.
 Kyoto : 129.
 Langage : 31, 55, 96, 98, 118, 148, 154, 159.
 Leclerc, Rama : 45.
 Les Trois-Frères, grotte : 52.
 Lobes frontaux : 97, 149.
 Locke, John : 15, 62.
 Machines : 14, 28, 31, 60-67, 73, 74, 95, 129, 137-146, 164, 165, 169.
 Maître des animaux : 32.
 Malnoe, Pia : 14.
 Manu, Réserve biosphère : 22, 29.
 Matsigenka : 21, 22, 24, 25, 26, 29, 32.
 McGinn, Colin : 155.
 Méiose : 41.
 Mémoire : 30, 50, 62, 73, 97, 98, 110, 144, 151, 152, 153, 161.
 Menzel, Randolph : 79.
 Mère des animaux : 48.
 Mères des plantes : 34.
 Métamorphose : 48, 133, 136, 137, 141.
 Miller, Christopher : 166.
 Monod, Jacques : 59, 107.
 Morgan, C. Lloyd : 65.
 Mort : 17, 35, 37, 38, 52, 76, 94.
 Mouvement : 25, 27, 61, 74, 80, 85, 86, 98, 103, 122, 125, 135, 144, 149, 151, 163, 164.
 Munn, Charlie : 22, 23, 24, 26, 29.
 Myxomycètes : 115, 116, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 143, 161, 162, 163, 169.
 Nakagaki, Toshiyuki : 116-127, 163.
Nature (revue) : 29, 75, 101, 119, 167.
 Nature :
 définition, 96.
 Néandertaliens (homme de Neander-
 tal) : 94, 95.
 Nématodes : 55, 88, 91, 92, 93, 169.
 Néocortex : 97.
 Néodarwiniens : 53.
 Neurones : 30, 31, 78, 79, 88, 89, 91, 92, 99, 102, 108, 109, 112, 134, 145-156.
 Oiseaux : 21-32, 47, 48, 49, 56, 90, 93, 146.
 Ordinateurs : 95, 138, 139, 145, 146, 164.
 Organisme : 143-144.
 Origine de la vie : 39-41.
 Oxygène : 147, 148.
 Pachitea (vallée) : 33, 35.
 Papillons : 84, 129-141, 144, 159.
 Pérou :
 région d'Iquitos, 45-53 ;
 vallée Pachitea, 33-41 ;
 région de Pucallpa, 43-45 ;
 vallée Urubamba, 21-32.
 Perroquets : 21, 22, 26, 28, 56.
 Peuples indigènes : 31, 43, 49, 51, 53.
 Physarum (polycephalum) : 116, 120.
 Pieuvre : 99.
 Pigeons : 30, 82.
 Plantes : 85-86, 163 ;
 intelligence, 36, 82-83, 101-114 ;
 esprit, 50.
 Plasticité : 77, 105, 106, 107.
 Poissons : 90, 93, 97, 98.
 Prédateurs : 29, 85, 86, 88, 89, 91, 94, 95, 101, 163, 164, 170.
 Primates : 67, 75, 93, 96, 97.
 Propriétaire des animaux : 36, 37, 44, 48, 49, 52.

- Protéines : 40, 53, 55, 109, 110, 113, 152, 153, 159, 163, 165-169.
 Pucallpa (Pérou) : 35, 43, 45.
 Pythagore : 127.
 Rasoir d'Occam : 65.
 Reichel-Dolmatoff, Gerardo : 51.
 Robotique : 74, 137, 138.
 Roht, Laine : 16, 18.
 Salmonelle : 169.
 Science :
 interdisciplinaire, 136 ;
 occidentale, 13-14, 46-47, 60, 64-66, 160.
 Shepard, Glenn : 25, 26.
 Shinto : 120.
 Shipibo : 43, 44, 45.
 Signes : 133, 159, 160.
 Singes : 66.
 Skinner, B.F. : 67, 74.
 Stenhouse, David : 103, 104.
 Stone, Valerie : 162.
 Synapses : 109, 110, 151, 152, 153.
 Système nerveux : 79, 82, 86, 88, 89, 90, 116, 124, 139, 144, 164.
 Tabac : 25, 38, 48, 55, 96, 107, 108.
 Tchouang-Tseu : 135.
 Thomas, Lewis : 67.
 Tokyo (Japon) : 117, 129, 130, 134, 137, 140.
 Toulouse (France) : 71, 72, 77, 80.
 Transformateurs : 43, 51, 53, 90, 115, 133, 141, 155, 169.
 Trewavas, Anthony : 101-113, 121.
 Urubamba (rivière) : 21, 23, 25, 31, 33.
 Vaadia, Eilon : 154.
 Venin de serpent : 18.
 Vertébrés : 74, 81, 82, 89, 90, 95, 98, 143.
 De Waal, Frans : 68.
 Ward, Thomas : 168.
 Wright, frères : 156.
 Yokohama (Japon) : 130.
 Zetka, Monique : 91, 92.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- AIDSESEP (2000) : 193.
 Angier (2003) : 257.
 Arhem (1996) : 192.
 Arikawa (1999), 231 ; (2001), 229.
 Arikawa *et al.* (1980), 230 ; (2004), 231.
 Asquith (1986), 207 ; (1997), 206.
 Attenborough (1995) : 212.

 Bacon (1960, orig. 1620) : 202.
 Bahn et Vertut (1998) : 196.
 Bégouën (1929) : 194.
 Behe (2001) : 190.
 Bekoff (2002) : 211.
 Beveridge (1950) : 223.
 Bhattacharjee (2003) : 213.
 Blakeslee (1996), 238 ; (2003), 232, 237.
 Brooks (2002) : 252.
 Buhner (2002) : 219.

 Calow (1976) : 251.
 Campbell (1959) : 193.
 Canetti (1960) : 193.
 Carter (1998) : 219.
 Catchpole et Slater (1995) : 183.
 Cenami Spada (1997) : 208.
 Centofanti (1996) : 254.
 Chauvet *et al.* (1996) : 195.
 Clottes *et al.* (2001) : 195.
 Coghlan (2002) : 254.
 Cohen (1996) : 248.

 Colburn (1999) : 236.
 Connors (2002) : 240, 241.
 Currie *et al.* (1999) : 201.

 Damasio (1999a), 236, 238, 243 ; (1999b), 240 ; (2003), 234.
 Darwin (1872), 205 ; (1998, orig. 1871), 205 ; (1968, orig. 1859), 205.
 Dave et Margoliash (2000) : 184.
 Davenport et Jochim (1988) : 194.
 Davey (2003) : 232.
 Davidson (2001) : 208.
 Davies (2002) : 200.
 Davies et Ikeno (2002) : 232.
 Davis (1998) : 187.
 Dawkins (1976) : 203.
 Dembski (1999) : 190.
 Dennett (1998) : 250.
 Denton (2002) : 233.
 Derrington (2000) : 236.
 Descartes (1953) : 203, 233.
 Descola (1986), 188 ; (1999), 192.
 Diamond (1999) : 178.
 Donnenberg (1999) : 254.
 Downward (2001) : 254.
 Dubochet *et al.* (1997) : 174.
 Dugatkin (1999) : 179.
 Dyson (1997) : 234.

 Eagleman et Sejnowski (2000) : 238.
 Eliade (1951) : 185.

- Emery et Clayton (2001) : 182.
Engel (2002) : 178.
Ensminger (2001) : 231.
Environmental News Network (2001) : 176.
Eriksson *et al.* (1998) : 184.
- Fagan (1990) : 215.
Franklin (1995) : 201, 234.
Frazer (1888) : 186.
Fuster (2003) : 240, 242, 244, 249.
- Gage (2003) : 241.
Gardner (1999) : 201.
Gentry (1988) : 177.
Giedion (1957) : 194, 197.
Gilardi *et al.* (1999) : 177.
Gilroy et Trewavas (2001) : 222.
Gilroy, Read et Trewavas (1990) : 223.
Giurfa (2004) : 209.
Giurfa *et al.* (2001) : 208.
Grand (2001) : 251.
Gray (2002) : 190, 242.
Grayling (1997) : 236.
Greenfield (2000) : 219.
Griffin (1976) : 205.
Guss (1985) : 186.
- Hall (1998) : 239.
Hoffecker (2002) : 216.
Hoffman *et al.* (1996) : 208.
Holloway (2003), 242 ; (2004), 254.
Hume (1978, orig. 1739) : 203.
Hunt (1996) : 199.
Huxley (1923) : 65, 206.
- Ingold (1988), 247 ; (1994), 246 ; (1997), 218.
Ingram (2000) : 238.
- Johnson (2001) : 210, 236.
Jones (2001) : 253, 254.
- Kamil et Balda (1985) : 181.
Kampis (1998) : 244.
- Katritch *et al.* (1997) : 174.
Kawade (1998) : 248.
Kelly (1992) : 222.
Kennedy, J. (1992) : 202, 203.
Kennedy, D. (2002) : 200.
Kim *et al.* (1997) : 237.
Kinoshita *et al.* (1999) : 230.
Kinoshita et Arikawa (2000) : 230.
Kolodner (2000) : 255.
Kull (1998) : 245.
Kuper (1994) : 215.
Kurzweil (1999), 234, 235 ; (2002), 234.
- Lanier (2000) : 235.
Leclerc (2003) : 191.
LeDoux (1996), 237 ; (2002), 233.
Leslie (2002) : 209.
Levy (2001) : 202.
Leys *et al.* (1999) : 213.
Leys et Mackie (1997) : 212.
Linden (2002) : 214.
Llinás (2001) : 242.
Locke (1975, orig. 1689) : 203.
- Macklis (2001) : 241.
Manier (1999) : 238, 243.
Marx (2002) : 256.
Matthews (2000) : 239.
McDougall *et al.* (2005) : 214.
McGinn (1999) : 243.
Menzel et Giurfa (2001) : 209.
Miller (1997) : 255.
Mittermeier *et al.* (1999) : 175.
Modlin (2000) : 255.
Monod (1971) : 201, 202.
Morgan (1984) : 205.
Mouse Genome Sequencing Consortium (2002) : 198.
Mukerjee (1996) : 200.
Munn (1986a), 179 ; (1986b), 178.
Muséum national d'histoire naturelle (1999) : 213.
- Nader *et al.* (2000) : 240.
Nadis (2001) : 236.

- Nakagaki (2001a), 227, 251 ;
 (2001b), 225, 228.
 Nakagaki *et al.* (2000), 226 ; (2001),
 227 ; (2004), 226.
 Narby (2002) : 174.
 Nurse (1997) : 244.

 Oreskes *et al.* (1994) : 207.

 Passingham (2002) : 218.
 Patte (1960) : 196.
 Peebles (2003) : 208.
 Pepperberg (1999) : 184, 200.
 Phillips (2002) : 221.
 Pollack (2001) : 254.

 Reichel-Dolmatoff (1976), 186 ;
 (1978), 187, 189 ; (1987), 193.
 Reiss et Marino (2001) : 199.
 Restak (2001) : 237.
 Richardson (2000) : 248.
 Ridley (1996) : 217.
 Rinberg et Davidowitz (2000) : 251.
 Russell (2002) : 220.
 Ryan (2001) : 220.

 Savage (1995) : 180.
 Schopenhauer (1970, orig. 1851) :
 204.
 Schultz (1999) : 201.
 Scott et Pawson (2000) : 253.
 Searle (1987) : 251.
 Shanon (2002) : 243.
 Sharov (1998) : 245.
 Shepard (1998) : 178.
 Skinner (1959) : 207.
 Skutch (1996) : 180, 183.

 Smith (1999) : 200.
 Specter (2001) : 183.
 Stenhouse (1974) : 220.
 Stephenson et Stempen (1994) : 224.
 Stern (1999) : 201.
 Stevens (1996) : 239.
 Stix (2003) : 237, 244.
 Stringer (2003) : 214, 216.

 Terborgh (1999) : 176.
 Thomas (1974) : 207.
 Townsley (2001) : 191.
 Trewavas (1999a), 221 ; (1999b),
 223 ; (2002), 220 ; (2003), 220.

 Vaadia (2000) : 242, 244.
 Varela (1996) : 242, 252.
 Vertosick (2002) : 249.
 Viegas (2000) : 226.
 Vines (2001) : 202.
 Vitebsky (1995) : 196.

 De Waal (2001) : 206, 208.
 Wade (1997), 214 ; (1998), 197 ;
 (1999), 201 ; (2000), 253.
 Wakker et Richter (2004) : 236.
 Watanabe (2001) : 182.
 Whiten et Boesch (2001) : 198.
 Whitfield (2001) : 219.
 Wigglesworth (1980) : 211.
 Wijesinghe et Hutchings (1999) :
 221.
 Wilkinson (1984) : 200.
 Wilson (1993), 197 ; (2002), 176.
 Witzany (1998) : 246.

 Zimmer (1998) : 225.

REMERCIEMENTS

Merci à Nouvelle Planète, Willy Randin, Franz Treichler, Michael Baldwin, Jennie Curtis, Barbara Moulton, Pia Malnoe, Patrick Lyndon, Francis Huxley, Kevin W. Kelley, Florianne Koechlin, Yves Duc, Valerie Stone, Henri Weissenbach, John Beauclerk, Pascal, Jean-Pierre Dufaure, Thomas Ward, John Hazard, Jacques Falquet, Philippe Randin, José Marin, Glenn Switkes, Hugh Brody, René Walker, Jeremy P. Tarcher, et Mitch Horowitz.

Édition du texte : Jon Christensen.

Assistante de recherche : Marie-Claire Chappuis.

En Suisse : Rachel Vuillaume, Heleen Treichler, Céleste Tschachtli.

En Estonie : Inna Feldbach.

Au Pérou : Irma Tuesta, Never Tuesta, Lelis Rivera, Alberto Chirif, AIDSESEP.

En France : Hervé Berbille, Rama Leclerc.

Aux États-Unis : Bokara Legendre, Kit Miller, J.P. Harpignies, Laura Stuvé, Gregory Dicum.

Sous les étoiles : Arthur, Loïk, Gaspar, et Edward Narby.

Par ailleurs : Michel Ritter, Olivier Suter, Stefan Jost, Al Comet, Bernard Trontin, Dom Torche, Poy-lee Graf, Eugen Lüdi, Hugo Udry, Katherine Renton, Yvonne Fleury, et Thierry Rérat.

Pour l'édition française : Henri Weissenbach, Vera Michalski, Simone Audin.

Et merci à Yona Chavanne, pour avoir su traduire la musique des mots.